

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I

На правах рукописи

КОРНЕВ Андрей Сергеевич

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНА НА ПЛОСКИХ  
РЕШЕТАХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
доктор сельскохозяйственных наук  
В.И. Оробинский

Воронеж – 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Состояние вопроса и задачи исследования.....	12
1.1 Требования к качеству семян.....	12
1.2 Анализ технических решений применяемых для очистки плоских решет.....	15
1.2.1 Очистители фрикционного действия.....	16
1.2.2 Очистители ударного и комбинированного действия .....	20
1.3 Анализ конструктивных решений применяемых подвесок и системы привода решетных станов.....	28
1.4 Выводы.....	44
2 Теоретические предпосылки совершенствования устройства для очистки плоских решет и привода решетного стана.....	45
2.1 Обоснование конструктивных и режимных параметров устройств для очистки решет.....	45
2.1.1 Движение очищающего элемента по подрешетному пространству.....	46
2.1.2 Численная реализация процесса движения очистителя в виде пружины по участку подрешетного пространства.....	55
2.2. Обоснование конструктивных и режимных параметров привода решетного стана.....	60
ВЫВОДЫ.....	63
3 Программа и методика экспериментальных исследований.....	64
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	64
3.2 Описание конструкции и работы экспериментальной установки.....	64
3.3 Методика определение гранулометрического состава исходного вороха.....	67
3.4 Методика проведения экспериментальных исследований.....	68
3.5 Методика определения влажности вороха.....	68
3.6 Методика определения стекловидности и содержания клейковины.....	69
3.7 Методика определения влияния очистителя плоских решет на	

показатели их работы.....	69
3.8 Методика определения влияния угла наклона подвесок решетного стана на фракционирование зернового вороха озимой пшеницы.....	72
3.9 Методика определения влияния привода решетного стана на показатели работы очистки.....	75
3.10 Математическая обработка результатов экспериментальных исследований.....	77
4 Результаты экспериментальных исследований.....	79
4.1 Состав бункерного вороха семян пшеницы.....	79
4.2 Влияние конструкции отражательной поверхности на качество очистки решет ..... 79	79
4.3 Влияние конструктивных и режимных параметров решетного стана на эффективность работы решет ..... 84	84
4.4 Влияние угла наклона подвесок решетного стана на фракционирование зернового вороха ..... 90	90
4.5 Влияние типа отражательной поверхности и размеров разделительной ячейки на качество очистки решет ..... 99	99
4.6 Влияние конструкции привода решетного стана на эффективность сепарации..... 103	103
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ.....	107
5 Экономическая оценка эффективности решетного стана..... 109	109
5.1. Общие положения методики расчета экономической эффективности модернизированного решетного стана зерноочистительной машины ОЗФ-80/40/20..... 109	109
5.2 Расчет годового экономического эффекта от модернизации решетного стана зерноочистительной машины..... 113	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	117
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ А – ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ РФ № 141156... 136	136
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Программа движения очистителя в виде пружины по	

наклонной плоскости.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Программа движения очистителя в виде пружины по направляющей окружности.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Программа полета очистителя в виде пружины.....	141
ПРИЛОЖЕНИЕ Д – ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ РФ № 142434...	143
ПРИЛОЖЕНИЕ Е – ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ РФ № 151995...	145
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ РФ № 135543.	147
ПРИЛОЖЕНИЕ З – ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ РФ № 139851....	149
ПРИЛОЖЕНИЕ И – ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ РФ № 2516873.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ К – Результаты экспериментальных исследований по определению эффективности применения совместного использования представленных разработок на коэффициент сепарации .....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ Л – АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В ЗАО «ТЕХНИКА СЕРВИС.....	155
ПРИЛОЖЕНИЕ М – СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ...	156

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Национальная безопасность государства напрямую зависит от его продовольственной независимости. В обеспечении суверенитета в этой области особую роль играет сельское хозяйство, основой которого безусловно является зерновое производство. Главной задачей агропромышленного комплекса в связи с этим является увеличение объемов производства продовольственного и семенного зерна. Широкое использование прогрессивных технологий и технических средств, учитывающих почвенно-климатические особенности различных регионов, являются приоритетным направлением развития агропромышленного комплекса [26, 59, 89, 98, 99, 129].

Увеличить количество производимого зерна с учетом сохранения посевных площадей возможно за счет снижения потерь на всех этапах его производства и повышения урожайности. Главным фактором, влияющим на урожайность, является качество семян. Так согласно исследованиям качества семян зерновых и зернобобовых культур, в Российской Федерации на апрель 2014 года по данным ФГБУ «Россельхозцентр» в среднем по стране процент некондиционного зерна составил 15,9 %, а, например, в дальневосточном федеральном округе этот показатель равен 50,7 %. Такое качество зерна можно объяснить их высокой степенью травмирования в процессе уборки и послеуборочной обработки, а также несвоевременной очисткой из-за низкой производительности зерноочистительных машин [137, 139, 140, 143, 144].

Несвоевременная очистка зерна приводит к созданию благоприятной среды для обитания и размножения микроорганизмов, оказывающих негативное воздействие на посевные качества семян и качество получаемой продукции [51, 109, 115]. Недостаточный технологический и технический уровень механизации производства семян в России приводит к их низкому качеству.

Производство и переработка больших объемов зерна требуют высоких показателей производительности технологических линий и зерноочистительных машин. В хозяйствах Российской Федерации используются зерноочистительные

агрегаты и комплексы, построенные в начале шестидесятых годов. Их применение позволило резко увеличить производительность труда, снизить себестоимость продукции [24, 52, 56, 73, 77, 78, 79, 80, 83, 89, 100, 102, 103, 113].

В нашей стране и за рубежом доминирующим средством очистки семенного и продовольственного зерна остаются зерноочистительные машины, в конструкциях которых в качестве рабочих органов используются плоские решета, установленные в решетных станах. Такие рабочие органы являются в настоящее время наиболее универсальными и получили широкое применение. Поэтому повышение эффективности процесса сепарирования зерна на плоских решетках за счет совершенствования конструкций и обоснования параметров зерноочистительных машин представляет собой важную задачу.

Повышение эффективности процесса сепарирования зерна на плоских решетках невозможно без знаний закономерностей работы очистителей плоских решет и систем приводов решетного стана, а поэтому тема диссертации актуальна.

Настоящая работа посвящена повышению эффективности сепарации зернового вороха на плоских решетках зерноочистительных машин за счет совершенствования конструкции решетного стана, его параметров и режимов работы. Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (ВГАУ) «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утвержденной ученым советом ВГАУ (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

**Степень разработанности темы.** Вопросами повышения эффективности сепарации зерна на плоских решетках, совершенствования решетных станом зерноочистительных машин занимались и занимаются в настоящее время множество ученых. Процессы разделения зерновой смеси рассматривались в трудах Тарасенко А.П., Оробинского В.И., Галкина В.Д., Горбачева И.В., Свиридова Л.Т., Сундеева А.А., Быкова В.С., Завгороднего А.И., Заики П.М.,

Зюлина А.Н., Ридного В.Ф., Кожуховского И.Е., Лопана А. А., Файбушевича Г.З., Чумакова В.Г., Вахниной Г.Н., Борискина М.А., Шакина Н.И. и др. Представленные авторы достаточно полно в своих трудах осветили процесс сепарации зернового материала на плоских решетках, однако остаются нерешенными отдельные вопросы.

Изучение и анализ литературных и патентных источников показали следующее: используемые в настоящее время шариковые и щеточные очистители решет имеют ряд существенных недостатков и требуется дальнейшее совершенствование рабочих органов механизма очистки; отсутствуют данные по использованию разнонаправленных подвесок решетного стана; нет технических решений по снижению инерционных нагрузок в приводе решетного стана; в существующих решетных зерноочистительных машинах процесс сепарации зерна на плоских решетках малоэффективен и нуждается в дальнейшем изучении с целью модернизации конструкции и оптимизации режимов работы для повышения качества продукции и снижения энергозатрат.

**Объектом исследования** является процесс сепарации зернового вороха на плоских решетках зерноочистительных машин и конструктивные элементы решетного стана.

**Предметом исследований** являются закономерности сепарации зернового вороха на плоских решетках.

**Цель работы** – повысить эффективность сепарации зернового вороха на плоских решетках зерноочистительных машин за счет изменения конструктивно-кинематических параметров решетного стана, и совершенствования элементов его конструкции.

**Задачи исследований:**

- предложить новые технические решения очистителя плоских решет, системы привода решетного стана и его элементов;
- разработать математическую модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины;

- получить аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана с учетом особенностей предложенных технических решений элементов решетного стана;

- экспериментально обосновать рациональные параметры отражательной поверхности решетного стана зерноочистительной машины.

**Научная новизна:**

- математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, отличающаяся учетом параметров дополнительных направляющих на отражательной поверхности;

- аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана, отличающиеся учетом особенностей предложенных технических решений элементов решетного стана;

- зависимости коэффициента сепарации от частоты и амплитуды колебаний решетного стана, отличающиеся тем, что получены экспериментально при разнонаправленном наклоне подвесок;

- рациональные параметры отражательной поверхности решетного стана зерноочистительной машины, отличающиеся тем, что определены для варианта конструкции с очистителем в виде пружины.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана углубляют знания в области теории зерноочистительных машин.

Предложенные технические решения, защищенные патентами Российской Федерации, позволят повысить эффективность реализации фракционной технологии послеуборочной обработки зернового вороха, увеличить производительность и надежность работы зерноочистительной машины, обеспечить качество получаемой продукции в соответствии с действующим ГОСТ Р 52325-2005.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть



использованы при проектировании и изготовлении наиболее перспективных моделей зерноочистительных машин, их настройке и эксплуатации, а также в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 (110800.62) и магистров по направлению 35.04.06 (110800.68).

**Методология и методы исследования.** Теоретическое исследование произведено на основе методов математического моделирования, классической механики, физики. Лабораторный эксперимент поставлен на основе теории планирования эксперимента, для его проведения модернизирована лабораторная установка для исследования процесса сепарации зерна, имеющаяся на кафедре сельскохозяйственных машин ВГАУ. При проведении расчётов и обработке результатов эксперимента использовали современные ЭВМ, применяли программное обеспечение: Excel, MatLab, Maple 14, Statistica 7.

**Положения, выносимые на защиту:**

- новые технические решения очистителя плоских решет, решетного стана и его привода, позволяющие повысить эффективность сепарации зерна;
- математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, позволяющая обосновать параметры направляющих на отражательной поверхности;
- аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана;
- зависимости коэффициента сепарации от частоты и амплитуды колебаний решетного стана, позволяющие установить рациональные режимы работы и оценить эффективность предложенных технических решений элементов решетного стана.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Результаты получены с применением современных апробированных теоретических подходов, методов математического анализа, теории дифференциальных уравнений, теории зерноочистительных машин, реализацией математической модели на ЭВМ, планированием и проведением эксперимента, сопоставлением результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Достоверность результатов работы подтверждается: методологической базой исследований, проведением системного анализа решаемых задач и применением методов математического моделирования, применением современных средств вычислительной техники, результатами внедрения в производство.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались:

- на научных конференциях профессорско-преподавательского состава агроинженерного факультета ВГАУ в 2013–2015 годах;
- на международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии и технические средства для АПК» во ВГАУ в 2014 г.;
- на научно-производственной конференции Белгородского государственного аграрного университета имени В.Я. Горина в 2014 г.;
- на научной конференции «Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК» во ВГАУ в 2014 г.;
- на III международной научно-практической конференции «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности» в 2015 г. во ВГАУ;
- на стипендиальной программе «ЭкоНива-Студент 2013» в номинации «Механизация сельского хозяйства»;
- на конкурсе по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (У.М.Н.И.К.) в 2013, 2014 годах;
- на II этапе всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России в номинации «Технические науки» в 2014 г. во ВГАУ (работа отмечена дипломом III степени);
- на всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России в номинации «Технические науки» в Саратовском государственном аграрном

университете имени Н.И. Вавилова в 2014 г.

Результаты диссертационной работы внедрены на предприятии по производству сельскохозяйственных машин и оборудования ЗАО «Техника-Сервис» (г. Воронеж).

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «ВГАУ» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 (110800.62) «Агроинженерия» и магистров по направлению 35.04.06 (110800.68) «Агроинженерия».

**Личный вклад соискателя.** Личный вклад соискателя заключается в постановке задач исследования, выборе методов, разработке методики исследований, выполнении математических преобразований и расчетов, разработке математической модели, реализации модели на ЭВМ, усовершенствовании конструкций элементов решетного стана, модернизации лабораторной установки, получении экспериментальных данных, формулировке выводов.

**Публикации.** Результаты диссертационной работы опубликованы в десяти научных статьях, из которых четыре – в изданиях, включённых в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций. По результатам диссертационной работы получено: один патент на изобретение и пять патентов на полезные модели.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, включающих 50 рисунков и 17 таблиц, заключения, списка использованных источников, включающего 159 наименований, 12 приложений. Объем диссертации 156 страниц.

## 1. Состояние вопроса и задачи исследования

### 1.1 Требования к качеству семян

В основе выполнения послеуборочной обработки стоит задача сохранения собранного урожая и доведения его до требуемого качества, путем удаления лишней влаги, поврежденного зерна, посторонних семян и примесей различного происхождения, т.е. получение семенного материала, соответствующего требованиям ГОСТ Р 52325-2005. Влажность семян во время хранения должна не превышать 14 %, для семенного материала озимых культур, которые высевают непосредственно в год их уборки не зависимо от климатической зоны, допускается до 16 % [64, 66].

В государственном стандарте из посевных качеств семян нормированы такие показатели как всхожесть, чистота, влажность, зараженность болезнями и вредителями.

Для того чтобы получить семена требуемого качества, их необходимо очищать, сортировать и калибровать. При очистке из зернового вороха выделяют посторонние примеси, такие как семена различных сорняков и других культур, органические и минеральные примеси, а также дробленые и щуплые зерна. Зерно, после очистки сортируют, разделяя его по качеству и назначению. На данных этапах важно, как можно меньше травмировать семенной материал, так как из-за этого значительно снижается полевая всхожесть [64, 66, 141, 142].

Для того, чтобы хранить длительное время семена различных культур, их необходимо вовремя и качественно очищать [49, 53, 54, 68, 100, 134, 137, 152]. Такой семенной материал снижает процент засоренности полей, имеет повышенную всхожесть и урожайность. Использование полноценных, выровненных семян, свободных от примесей и болезней обеспечивает наиболее высокие показатели энергии прорастания и лабораторной всхожести, дружные и сильные всходы, повышенную урожайность. В качестве посевного материала используют только семена сортов, гибридных популяций, гибридов и родительских форм гибридов, которые внесены в Государственный реестр селекционных достижений и допущены к применению.

По категориям семена разделяют на: оригинальные (ОС), элитные (ЭС), репродукционные для семенных (РС) и товарных (РСТ) целей.

Семенные инспекции проверяют семена по сортовым и посевным показателям качества (таблица 1.1), достоверность которых обязана быть подтверждена соответствующими документами. Семенной материал не отвечающий сортовым и посевным качествам заявленной категории, переводится в более низкую категорию. Этот перевод возможен только в случае невозможности улучшения качества семян при последующей обработке.

Для твердой пшеницы всхожесть семян допускается на 2 % ниже значений, предусмотренных в таблице 1.

Уполномоченные органы управления сельским хозяйством субъектов Российской Федерации допускают применение для посева семян, которые были выращены в неблагоприятные по погодным условиям годы, со всхожестью менее установленных параметров для ОС и ЭС на 3 %, для РС и РСТ на 5 %. В ОС и ЭС пшеницы, ржи, тритикале и проса не допускается содержание семян овсюга, в ОС и ЭС овса допускается не более 3 ед./кг, а в РС проса - 4 ед./кг.

Запрещается использовать для посева семена, в которых обнаружены:

- сорняки (семена, плоды), вредители и возбудители болезней, имеющие карантинное значение для Российской Федерации согласно утвержденному перечню;

- живые вредители и их личинки, повреждающие семена соответствующей культуры, за исключением клещей, наличие которых допускается в РС<sub>Т</sub> не более 20 ед./кг;

- семена ядовитых растений - гелиотропа волосистоплодного и триходесмы седой.

Примесь растений мягкой пшеницы в числе сортовой примеси твердой пшеницы не должна превышать в посевах ОС и ЭС 0,1 %, РС - 0,5 % и РСТ - 1,0 %.

Семенное и продовольственное зерно должно обладать нормальным запахом и цветом.

Таблица 1.1 – Сортвые и посевные качества семян зерновых культур по ГОСТ 52325-2005

Категория семян	Сортовая чистота	Поражение посева головней, %; не более	Чистота семян, %; не более	Содержание семян других растений, шт./кг, не более		Примесь, %, не более		Всхожесть %, не менее
				всего	в т.ч. сорных	головневых образований	склероций спорын	
<b>Пшеница</b>								
ОС	99,7	0/0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1/0	99,0	10	5	0	0,001	92
РС	98,0	0,3/0,1	98,0	40	20	0,002	0,03	92
РС <sub>T</sub>	95,0	0,5/0,3	97,0	200	70	0,002	0,05	87
<b>Рожь</b>								
ОС	-	0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	-	0	99,0	10	5	0	0,03	92
РС	-	0,3	98,0	60	30	0,002	0,05	92
РС <sub>T</sub>	-	0,5	97,0	200	70	0,002	0,07	87
<b>Тритикале</b>								
ОС	99,5	0,0	99,0	8	3	0	0	90
ЭС	99,2	од	99,0	10	5	0	0,01	90
РС	98,0	0,3	98,0	50	25	0,002	0,03	90
РС <sub>T</sub>	95,0	0,5	97,0	200	70	0,002	0,05	85
<b>Ячмень</b>								
ОС	99,7	0/0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1/0	99,0	10	5	0	0,01	92
РС	98,0	0,3/0,3	98,0	80	20	0,002	0,03	92
РС <sub>T</sub>	95	0,5/0,5	97,0	300	70	0,002	0,05	87
<b>Овес</b>								
ОС	99,7	0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1	99,0	10	5	0	0,01	92
РС	98,0	0,3	98,0	80	20	0,002	0,03	92
РС <sub>T</sub>	95,0	0,5	97,0	300	70	0,002	0,05	87
<b>Просо</b>								
ОС	99,8	0	99,0	16	10	-	-	92
ЭС	99,8	0	98,5	30	20	-	-	92
РС	99,5	0,1	98,0	150	100	-	-	92
РС <sub>T</sub>	98,0	0,3	97,0	200	150	-	-	85
<b>Гречиха</b>								
ОС	-	-	99,0	15	8	-	-	92
ЭС	-	-	98,5	20	10	-	-	92
РС	-	-	98,0	100	60	-	-	92
РС <sub>T</sub>	-	-	97,0	120	80	-	-	87

## 1.2 Анализ технических решений применяемых для очистки плоских решет

Абсолютно все типы решет не могут эффективно работать без очистителей, так как при увеличении удельной нагрузки, допускаемой соответствующим типом решета, возрастает интенсивность забиваемости [27, 28].

Для того, чтобы охарактеризовать забиваемость решет в зерноочистительных машинах принят такой показатель, как степень забиваемости, а оценить работоспособность решета можно так называемым коэффициентом эффективности живого сечения. При помощи этого коэффициента определяют технологическую эффективность очистителя для конкретной зерновой смеси [81, 88].

Следует отметить, что само по себе значение коэффициента эффективности использования живого сечения решета не является напрямую мерой качества работы очистителя, как просеиваемость или качество очистки решет. Его значение дополнительно зависит от особенностей зерновой смеси, геометрических параметров отверстий решета и других факторов. Вследствие этого, указанный коэффициент даже при идеальных параметрах работы очистителя не достигает единицы. Но оценка характеризует именно качество работы очистителя и демонстрирует степень его приближения к идеальному.

В процессе сепарации зерновых материалов решета забиваются частицами вороха, поэтому решетчатые станы зерноочистительных машин снабжены механизмами очистки [145, 146].

Механизмы очистки плоских решет можно разделить на следующие основные группы:

- выталкивающие застрявшие частицы из отверстий очистителями, прижатыми к решетку и перемещающимися относительно его (очистители фрикционного действия);
- освобождающие частицу ударом о решето и частицу (очистители ударного действия);
- устройства, комбинирующие оба предыдущих принципа очистки (очистители комбинированного действия);

### 1.2.1 Очистители фрикционного действия

В зерноочистительных машинах для очистки плоских решет решетных станом широкое распространение получили механизмы фрикционного действия с использованием щеточного очистителя. Принцип действия данных очистителей сводится к взаимодействию щетки непосредственно с решетом и застрявших в них частицах сыпучего вороха. Различия между щеточными механизмами очистки состоит лишь в конструкциях их привода. Рассмотрим некоторые из них.

На рисунке 1.1 изображен очиститель сит [17]. Ворс 5 очистительной щетки 4 представленного механизма очистки всегда поджат к ситы 3, его перемещение осуществляется за счет электропривода 10 и свойств биметаллической пластины 7. Она, в свою очередь, под действием электрического тока нагревается и изгибается, меняя при этом угол наклона ворса, что вызывает перемещение тележки 1 с щеткой 4 по направляющим 2 вдоль решета и отключение от источника тока 12. При остывании пластины наблюдается обратное движение с возобновлением электрического контакта.

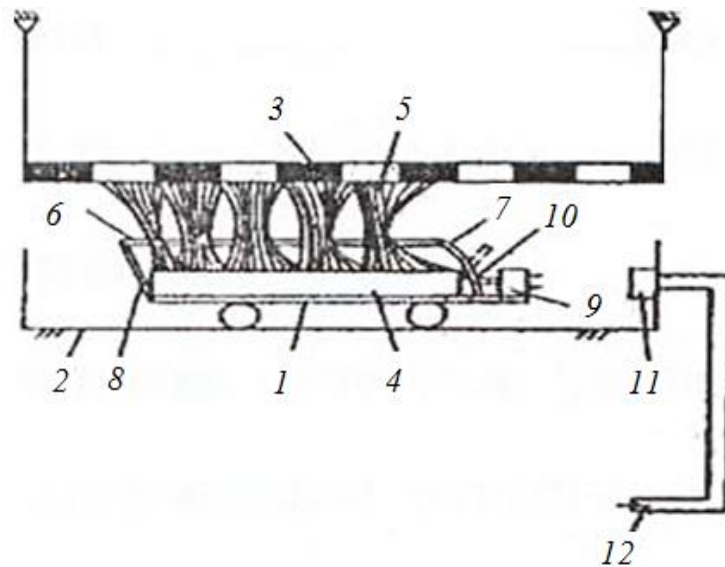


Рисунок 1.1 – Очиститель сит: 1 – тележка; 2 – направляющие; 3 – сито; 4 – очистительная щётка; 5 – ворс щётки; 6 – дополнительная рамка; 7 – биметаллическая пластина; 8 - серьга; 9 -электрический разъём; 10 - электрический привод; 11 - вторая часть электрического разъёма; 12 - источник электрического тока



При обратном перемещении очистителя за счет наклона и поджатия ворса основана работа очистителя сита [11] представленного на рисунке 1.2. Первое перемещение в данном случае осуществляется за счет электродвигателя 20 вращающего шкив 3, который накручивает трос 4 с закрепленной на нем колодкой 5 со щеткой 7.

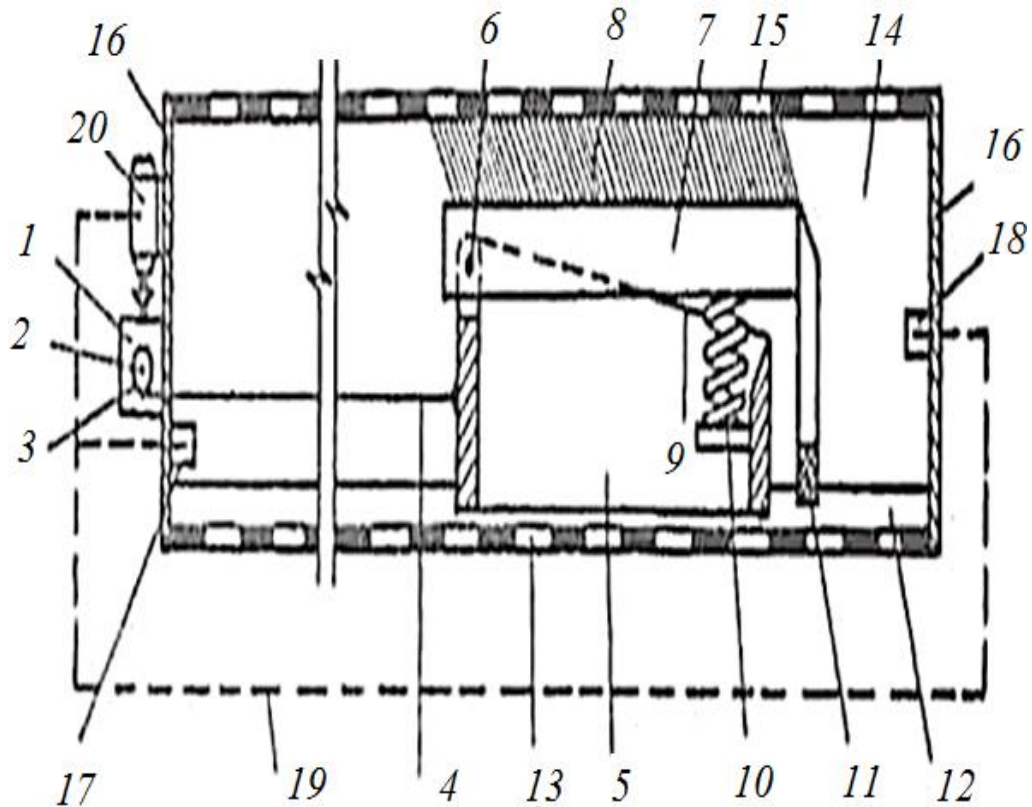


Рисунок 1.2 – Очиститель сита: 1 – редуктор; 2 – вал; 3 – шкив; 4 – трос; 5 – колодка; 6 – шарнир; 7 – корпус щётки; 8 – ворс щётки; 9 – боковые стенки колодок; 10 – пружина; 11 – очистители; 12 – направляющие; 13 – фордон; 14 – корпус сита; 15 – сито; 16 – боковые стенки корпуса сита; 17,18 – концевые выключатели; 19 – электрическая связь; 20 – электродвигатель

На рисунке 1.3 изображена конструктивная схема очистителя плоских решёт [16]. Привод механизма очистки передает возвратно-поступательное движение рамке со щетками, установленной на ролике. В крайних перемещениях ролика на опорной поверхности выполнены канавки, при попадании в которые происходит разрыв контакта щеток с решетом. Данное техническое решение позволяет интенсифицировать процесс сепарации и снизить нагрузки на очиститель.

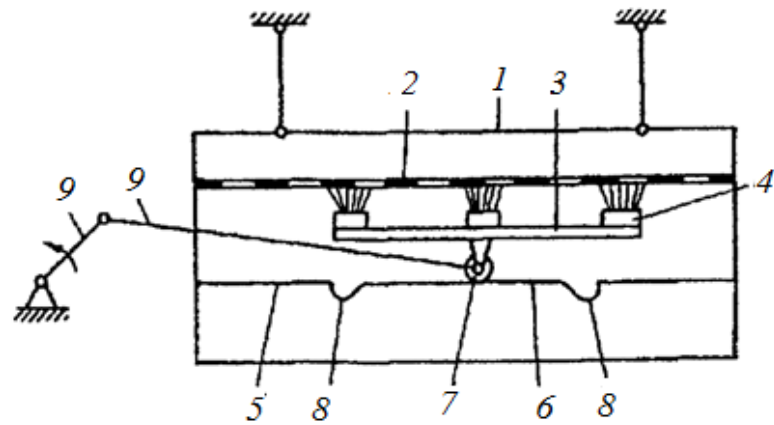


Рисунок 1.3 – Очиститель плоских решёт: 1 – решётный стан; 2 – решето; 3 – рамка; 4 – щётки; 5 – направляющие; 6 – опорная поверхность; 7 – ролик; 8 – канавки; 9 – привод

На рисунке 1.4 представлена принципиальная схема механизма очистки решёт зерноочистительных машин с колебательным движением решётного стана [15]. Здесь привод очистителя работает совместно с колебаниями решетного стана. Подвижная платформа 3 движется по направляющим 4 под действием тяги 15, при этом контакт щетки с решето зависит от положения решетного стана 1, которое вызывает попеременное натяжение и расслабление тросика 8 связанного через шарниры 7 и блочки 9 с подпружиненным рычагом 5.

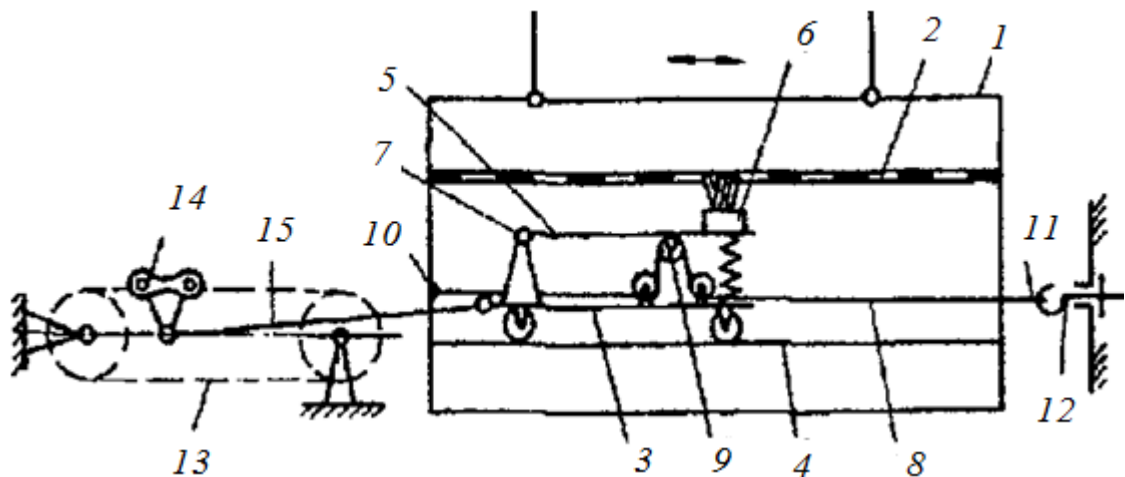


Рисунок 1.4 – Механизм очистки решёт зерноочистительных машин с колебательным движением решётного стана: 1 – решётный стан; 2 – решето; 3 – платформа; 4 – направляющие; 5 – подпружиненный рычаг; 6 – щётка; 7 – шарнир; 8 – тросик; 9 – блочки; 10,11 – концы тросика; 12 – механизм натяжения; 13 – цепная передача; 14 – звено цепной передачи; 15 – тяга

Отличие данной конструкции состоит в том, что в зависимости от положения решетного стана щетка либо поджата к решетке, либо находится на расстоянии от него, в связи с чем ее ворс всегда направлен вертикально и протыкает отверстия решетки, удаляя застрявшие частицы.

Как видно из выше представленной информации, вариантов исполнения механизмов очистки плоских решет щеточным очистителем множество [6, 13, 14, 20, 22]. Все они работают по одному принципу и обладают рядом достоинств: высокая эффективность очистки за счет оптимального усилия поджатия щеток, надежность работы и удобство обслуживания очистителя. Также из-за применения технических решений, обеспечивающих периодичность контакта с решеткой, повышается эффективность сепарации, пропускная способность решетки и снижается износ щеток.

Несмотря на такой объем положительных качеств, щеточный очиститель не совершенен и не дает 100 % очистки решет. Выявлением недостатков работы данных очистителей в ходе исследовательской деятельности занимался Завгородний А.И. [74]. Эксперименты были проведены на универсальной зерноочистительной машине СВУ-5, которая оснащена щеточным очистителем решет и кривошипно-шатунным приводом. При исследованиях использовали основные режимы работы машины: частота и размах колебаний решетки составляли соответственно 400 кол/мин, 15 мм, а те же величины для очистителя – 29 кол/мин, 256 мм.

Исследования показали, что оптимальным является привод, обеспечивающий появление рабочих органов очистителя через одинаковые отрезки времени в каждой точке решетки.

Еще можно выделить лишь два параметра, на которые оказывает непосредственное влияние рабочие органы очистителя. Это приведенная ширина  $V_{пр}$  и среднее необходимое число циклов работы. Увеличение значения  $V_{пр}$  ведет к увеличению числа закрытых отверстий решетки, что является крайне нежелательным. В следствии этого рабочий орган будет совершеннее при меньшей приведенной ширине. В идеальном случае  $V_{пр}=0$ . Также ясно, что

идеализированный рабочий орган должен обеспечивать абсолютную очистку отверстий решета за один цикл работы [74, 48].

Приведенная ширина рабочего органа зависит главным образом от его размеров и формы.

Величина цикла очистки - это промежуток времени между двумя последовательными воздействиями очистительного элемента на данный участок решета. Этот показатель характеризует периодичность очистки решета [70].

В ряде изданий [70, 75, 76] представлены данные, в которых показано, что повышение частоты возвратно-поступательных движений рабочих органов очистителей приводит к уменьшению пропускной способности решет. Объяснить эту закономерность можно наличием области, помимо зоны контакта щеток с решетом, которая дополнительно закрывается рабочими органами.

Эффективность от использования очистителя составляет 69,2...91,5 %, это говорит о возможности увеличения живого сечения решета почти на 10 % за счёт совершенствования процесса очистки. Технологический резерв рабочих органов очистителя примерно в четыре раза больше механизма привода, вследствие целесообразно проводить работу по усовершенствованию рабочих органов очистителя.

Из-за наличия механизма привода щеточные очистители обладают высокой металлоёмкостью и трудоемкостью, издают в процессе работы высокий уровень шума, вызывают дополнительную вибрацию машин. При применении данных механизмов возникает внешний подсор, который трудно устранить из-за наличия в решетных станах окон для осуществления привода.

### **1.2.2 Очистители ударного и комбинированного действия**

В зерноочистительных машинах для очистки плоских решет используют очистители ударного действия с принудительным приводом и со свободным перемещением ударяющих тел. Первые, редко используются и в основном, чтобы очищать решета, которые отделяют только крупные примеси [62]. Например, механические бойки наносят удары по решетку с усилием 50 Н и достигают 80 %

очистки решета. Для изготовления второго типа очистителей ударного действия используют эластичные материалы, в основном пищевую резину. Форма конструктивного исполнения отражательных элементов различна, они могут иметь вид прямоугольных брусков, квадратных пластин с округленными углами и сферической опорной частью, шайб, шариков и комбинированных очистителей со щёточной периферийной частью и с упругими элементами выполненными в виде пластин и колец [1, 3, 12], предназначенными для протыкания отверстий решёт. Под решетом рабочие органы очистителей ударного действия, располагаются на отражательном днище или специальной сетке [21, 82, 87, 106, 128].

Для надежной очистки необходимо распределение определенного количества ударяющихся тел на единицу площади очищаемой поверхности. Чтобы равномерно распределить рабочие органы очистителя – подрешётное пространство разделяют на ячейки. Шарик или другие тела в процессе работы решетного стана перемещаются между решетом и поддоном, совершая ударное воздействие по обратной поверхности решета и соответственно частицам, застрявшим в его отверстиях, выталкивая их вверх.

Среди представленных очистителей наиболее рациональными являются использование шариков. Рассмотрим некоторые варианты таких механизмов.

На рисунке 1.5 изображено устройство для просеивания сыпучего материала [8].

При возвратно-поступательном движении решет происходит сепарация зернового вороха. Шарик очистки 5 совершают колебательные движения между решетами 1 и 2, а также стержнями 3 и 4 ударяют по зернам, застрявшим в отверстиях верхнего решета 1 очищая его, также в пространство над стержнями 3 и 4. Данная конструкция позволяет повысить коэффициент использования живого сечения решета до 95 %.

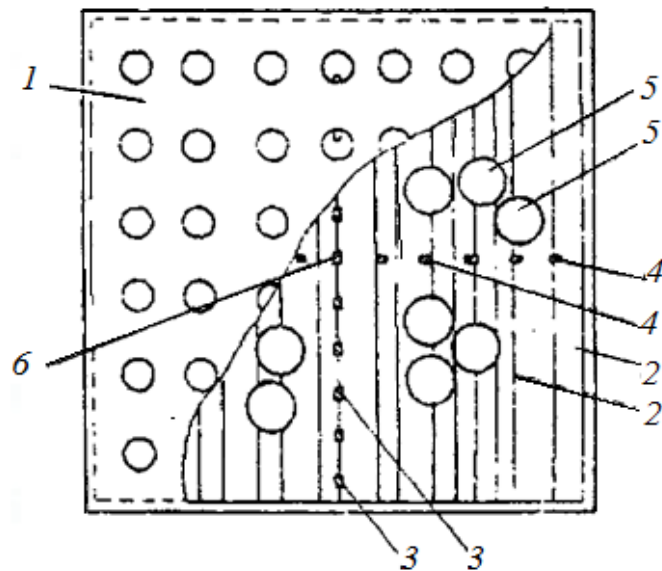


Рисунок 1.5 – Устройство для просеивания сыпучего материала: 1, 2 – решето;  
 3 – поперечные упругие стержни; 4 – продольные упругие стержни;  
 5 – очистительные шарики; 6 – стержень с квадратным поперечным сечением

На рисунке 1.6 изображена рамка шарикового очистителя плоских решёт [19].

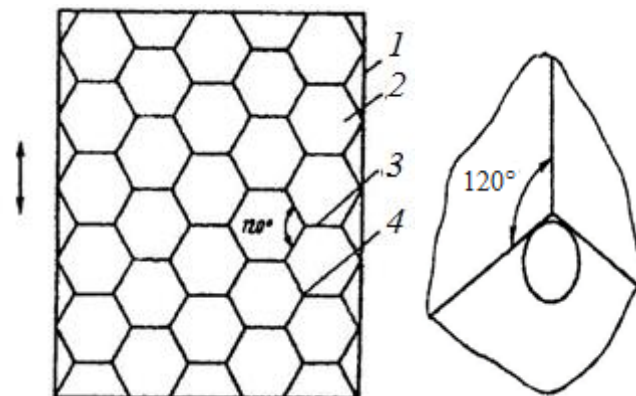


Рисунок 1.6 – Шариковый очиститель плоских решёт: 1 – каркас рамки;  
 2 – ячейки; 3 – перегородки; 4 – узел сетки

При колебательном движении решётного стана зерновая смесь, перемещаясь по решету, разделяется на две фракции, частицы с переходным размером застревают в отверстиях. Шарики, при отскоке от отражательной поверхности, совершают ударное воздействие по решету, тем самым очищая его от застрявших частиц. Элементы, которые сильно заклинили в отверстиях, извлекаются только при непосредственном контакте с шариками.

Использование в качестве ограничительной рамки с шестиугольными ячейками в виде сетки из упругого материала практически не создает препятствий

очистке при движении шариков. Так как упругие нити, из которых выполнена рамка, имеют незначительную толщину, могут деформироваться, а углы шестиугольных ячеек имеют максимально возможную величину  $120^\circ$ , что открывает лучший доступ шариков к участкам решета, расположенным над узлами решетки и увеличивает зону возможного контакта до 98 %.

На рисунке 1.7 изображена конструктивная схема шарикового очистителя плоских решет [18]. Забитые отверстия очищаются шариками, которые перемещаются между основным и вспомогательным решетом. Они расположены в ячейках, образованных диагональными перегородками 6 на рамке 5. Размер этих ячеек соответствует размеру шариков. Для того, чтобы очищалась вся поверхность решета, рамки с шариками перемещаются вдоль решетного стана на гибких подвесках 8, за счет колебаний, передаваемых от решетного стана. Режим работы очистителя регулируется колебаниями рамки. За счет данного технического решения минимизируются мертвые зоны, которые имеют место при использовании закрепленной рамки с шариками и повышается качество их работы на 5-15% в зависимости от режима работы, размера шариков и разделительной клетки.

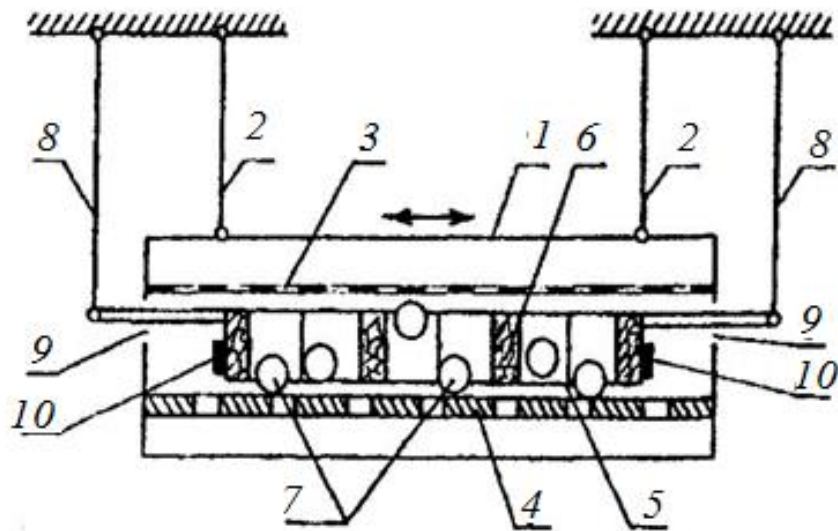


Рисунок 1.7 – Шариковый очиститель решёт: 1 - решётный стан; 2 - подвески; 3 - основное решето; 4 - дополнительное решето; 5 - рамка; 6 - диагональные перегородки; 7 - резиновые шарики; 8 - гибкая подвеска; 9 - проём; 10 - опорные элементы

Из литературы [82, 151] известно, что в решетных станах, круговое или возвратно-поступательное движение которых осуществляется в вертикальной плоскости, эффективность работы шариковых очистителей выше, чем при возвратно-поступательном движении стана в горизонтальной плоскости.

Для того, чтобы очиститель работал, необходимо сообщение шарикам вертикального импульса, возникающего от ударного взаимодействия упругого тела со стенками и днищем ячейки решетного стана, совершающего колебательные движения.

Если решетный стан колеблется в горизонтальной или близкой к ней плоскости, то для придания шарикам вертикального импульса необходимо использование отражательной поверхности определенной геометрической формы.

Г. З. Файбушевич занимался изучением работы шариковых очистителей в решетных станах, которые совершают вертикальные прямолинейные колебания [147, 148]. Влиянием силы тяжести шарика на движение в ходе решения задачи автором пренебрегалось, что позволяло получить симметричный характер виброударной системы. В такой системе периодическое движение шарика можно разложить на два интервала с одинаковой продолжительностью, которые отличаются лишь направлением движения. Принятие таких допущений хоть и упрощало задачу, но лишало полноты исследования.

Этой задачей занимались П.М. Заика и В.Ф. Ридный [76, 129, 130, 132], но уже без указанных выше допущений. Аналитические зависимости, которые они получили по определению работы шариковых очистителей в решетных станах, совершающих прямолинейные колебания, проверялись на экспериментальной установке. Она моделирует ячейку шарикового очистителя и представлена на рисунке 1.8.

Представленное устройство прикрепляли к столу, который обеспечивал колебания близкие к вертикальным с высоким диапазоном кинематических режимов по прямолинейным траекториям.



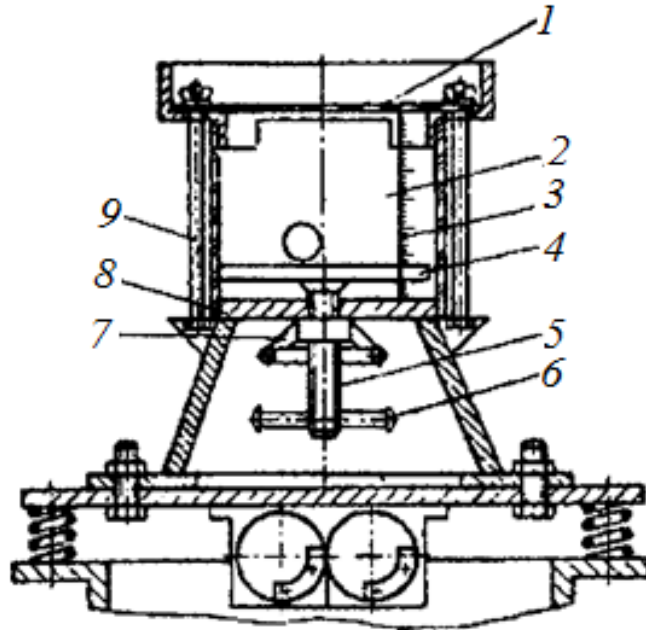


Рисунок 1.8 – Схема устройства для исследования параметров шариковых очистителей машин, решета которых совершают близкие к вертикальным колебания

На этом устройстве опытным путем определяли зазор  $h$  между решетом и отражательной поверхностью из условия устойчивого периодического движения шарика в модели ячейки очистителя. Критерием оптимизации была выбрана величина зазора. В решетном стане, колеблющемся с большой вертикальной составляющей амплитуды было определено, что имеются определённые границы величины зазора между решетом и отражательной поверхностью, которые обеспечивают устойчивое периодическое движение шарика [130, 147].

При движении решета, близких к горизонтальным колебаниям, шарик трудно сообщить вертикальный импульс, который сможет обеспечить необходимую или достаточную силу удара по решетку. Экспериментально установлено, что добиться этого можно путем установки специальной отражательной поверхности, которая представляет собой решетку из круглых прутков, размещенных перпендикулярно направлению движения решета.

Проанализировав результаты, полученных экспериментальных данных, а также аналитических зависимостей по определению влияния кинематических параметров решётного стана и параметров очистителя на силу воздействия на

застрявшее в отверстии зерно, определили возможность применения шариковой очистки решёт, которые совершают колебания близкие к горизонтальным. При этом эффективность их работы возможна только при соответствии кинематических параметров движения решётного стана конструктивным параметрам очистительного устройства: зазора между решетом и отражательной поверхностью материала, размеров и веса шариков, размера ячейки и числа шариков в ней [82, 131,]. Существует масса технических разработок, в которых различными способами добиваются повышения эффективности ударной очистки решет при колебаниях решётного стана близких к горизонтальным.

Шарики могут располагаться не только в ячейках разделительной сетки, но и просто в канавках отражательной поверхности, разделенных поперек перегородками.

Влиянием конструкции отражательной поверхности на качество очистки решет занимались такие ученые, как Тарасенко А.П., Оробинский В.И. и др. Установлено, что изменение шага прутков отражательной решетки существенно влияет на качество работы шарикового очистителя. Для работы шарикового очистителя необходимо обеспечить определённое расстояние между соседними прутками, при котором шарик не будет проваливаться и западать. При уменьшении шага уменьшается как энергия удара шарика по решетку, так и число ударов. Опыты проводили с размером ячеек 25x25 мм и 16x24 мм с подрешетным пространством 36,4 мм, при частоте колебаний 400 мин<sup>-1</sup> и амплитуде колебаний 14 мм. В качестве очистителей использовались шарики диаметром 32 и 28 мм, цилиндр диаметром 26мм, утяжеленный цилиндр 26 мм (с бронзовой вставкой). Опыты проводили при использовании подвижной и неподвижной разделительной клетки. Результаты данных исследований представлены в таблице 1.2 [113].

Из таблицы 1.2 видно, что основное влияние на выходной параметр оказывает подвижность разделительной клетки, ее перемещение позволяет увеличить коэффициент использования живого сечения решета на 5-16 %. Меньшее влияние оказывает вид очистителя, шарики эффективнее на 2-10 %. Геометрические размеры очистителей существенно не воздействуют на коэффициент

использования живого сечения решета, впрочем, как и размер отверстий отражательной клетки, их варьирование дает изменение указанного коэффициента на 1-5%.

Таблица 1.2 – Влияние типов очистителей на коэффициент использования живого сечения решета

Размер отверстий отражательной клетки	Очистительные элементы	Закрепленная решетка	Свободная решетка
		Коэффициент использования живого сечения решета – $K$	
25x25	Шар Ø 32	0,78	0,93
	Шар Ø 28	0,77	0,90
	Цилиндр Ø 26	0,75	0,92
	Утяжеленный цилиндр Ø 26	0,75	0,90
16x24	Шар Ø 32	0,75	0,91
	Шар Ø 28	0,80	0,90
	Цилиндр Ø 26	0,77	0,93
	Утяжеленный цилиндр Ø 26	0,75	0,86

К достоинствам шариковых очистителей относятся: отсутствие механизма привода; простота конструкции; сокращение габаритов решетного стана; высокая долговечность и надежность; относительная дешевизна; простота в эксплуатации [28].

Устройства шариковой очистки имеют такие недостатки, как наличие перегородок между шариками, которые увеличивают массу решетного стана и приводят к сокращению полезной площади решета. Также отрицательно сказывается то, что ударное взаимодействие шарика с обратной поверхностью решета носит вероятностный характер.

Анализ литературных источников указывает на необходимость в разработке новых технических решений для очистки плоских решет зерноочистительных машин дешевых в изготовлении, простых и надежных в эксплуатации, способных

существенно снизить массу решетного стана, его инерционные силы, повысить эффективность сепарации зернового вороха.

### **1.3 Анализ конструктивных решений применяемых подвесок и системы привода решет их достоинства и недостатки**

В зерноочистительных машинах основными рабочими органами являются решетчатые станы с набором решет. Известно, что производительность и качественные показатели процесса сепарации в значительной степени определяются кинематическими параметрами колебательного движения рабочих органов [37, 44, 57]. Различные способы крепления решетчатого стана, позволяют ему совершать колебательные движения. Для этого могут использоваться подвески, выполненные в виде плоских пружин, тросов, крепежных стоек и других конструкций.

В большинстве зерноочистительных машин применяются вертикально расположенные подвески [25, 71, 87, 103]. В зависимости от производительности, технических характеристик и конструктивных параметров машин, подвески могут быть выполнены из различных материалов и в разных количествах устанавливаться на решетчатых станах.

В ворохоочистителе ОВП-20, решетчатые станы – верхний и нижний, работающие параллельно, крепятся к раме машины на деревянных подвесках-пружинах [138]. Воздушно-ситовые сепараторы типа ЗСМ предназначены для очистки зерна от примесей на мельницах и крупозаводах с внутрицеховым механическим транспортом зерна. В своей конструкции они имеют верхний и нижний ситовые корпуса, каждый из которых подвешен к станине на четырех пружинных подвесках, расположенных вертикально.

Так же в зерноочистительных машинах может применяться и другое количество подвесок решетчатых станов. Так на сепараторе типа ЗСП, который выполнен в виде разборной металлической станины, внутри которой подвешены два ситовых корпуса на восьми пружинных подвесках, расположенных

вертикально. Аналогичное число плоских пружин-подвесок применяется в сепараторе ЗС-50, на которых к разборной металлической станине монтируются два ситовых корпуса.

Вместо плоских пружинных подвесок могут применяться и металлические тросы, на которых подвешивают к потолочному перекрытию раму рассева, как в машине ЗРМ [25].

Схема вертикального крепления подвесок приведена на рисунке 1.9.

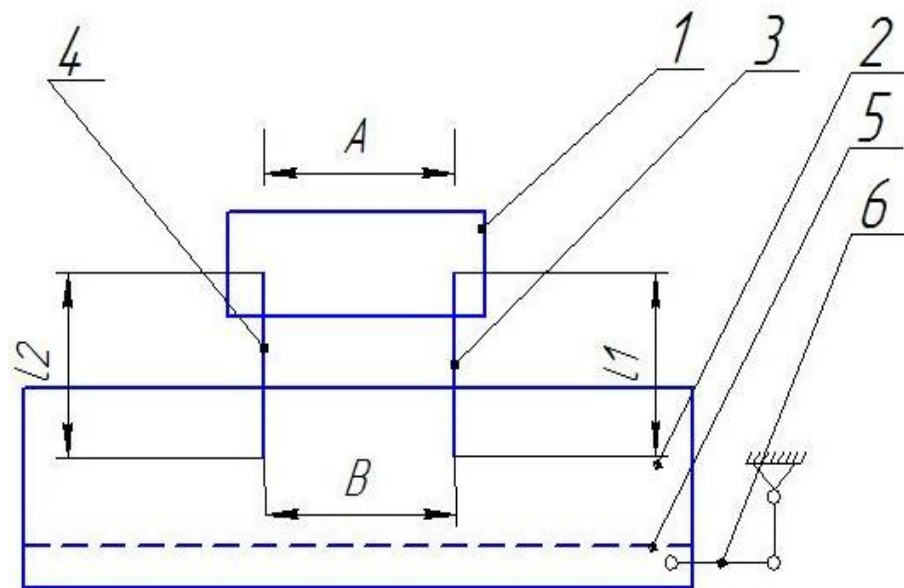


Рисунок 1.9 – Схема вертикального крепления подвесок: 1 – корпус, 2 – решетный стан, 3 – передняя плоская пружина, 4 – задняя плоская пружина, 5 – решето, 6 – привод

В некоторых зерноочистительных машинах применяют подвески, угол наклона которых можно регулировать. Одним из таких агрегатов является ситовая машина ЗМС-2[136], деревянный ситовой корпус которой, подвешен к станине на четырех подвесках, позволяющих регулировать наклон кузова по длине в пределах от 1 до 3 %. Наклон подвесок к вертикали можно изменять в пределах 3 - 10°.

Известны зерноочистительные машины, в которых решетный стан с продольных сторон подвешен на подвесках, установленных попарно, наклонно относительно вертикали. Все подвески закреплены фиксировано, не симметрично, наклонно под углом 12° к вертикали в одну сторону [55].

Схему крепления подвесок наклонно в одну сторону можно увидеть на рисунке 1.10.

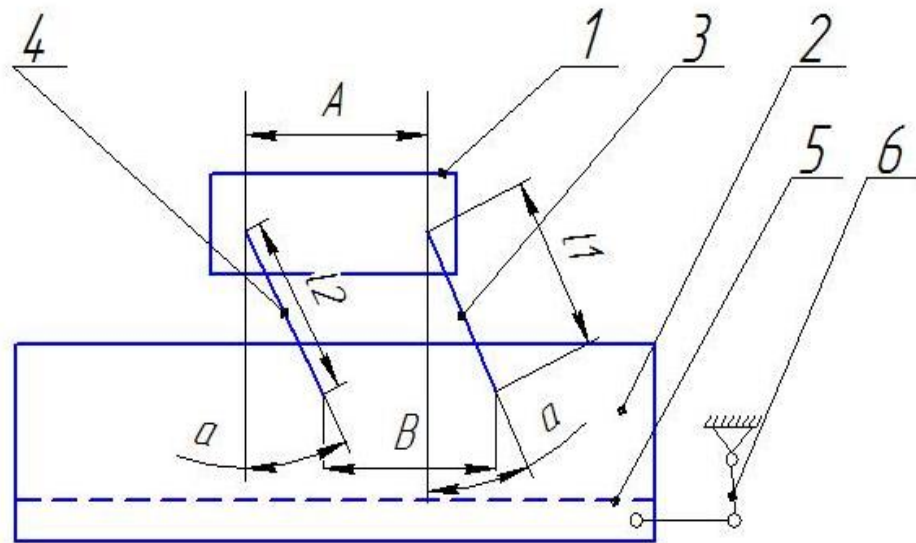


Рисунок 1.10 – Схема крепления подвесок наклонно в одну сторону:

1 – корпус, 2 – решетный стан, 3 – передняя плоская пружина, 4 – задняя плоская пружина, 5 – решето, 6 – привод

Помимо простых плоских подвесок, обеспечивающих только горизонтальные колебания решетных станков, используются конструкции плоских пружин, обеспечивающих возникновение вертикальной составляющей движения зернового вороха [7, 10, 126]. Конструктивная схема таких подвесок приведена на рисунке 1.11 и 1.12.

В первой конструкции подвески соединены с решетным станом шарнирно, а с рамой - посредством металлической пластины, которая закреплена на раме также шарнирно, и зафиксирована в верхней части дополнительными металлическими пластинами, при этом кронштейны установлены только спереди плоских пружин [7]. Работает подвеска решетного стана следующим образом: при колебательном движении решетного стана 7 плоская пружина 5, свободно изгибается относительно кронштейна 9 на раме 1, после чего происходит дополнительный изгиб плоской пружины 5 относительно упора 10, в результате чего решетный стан 7 приобретает вертикальное перемещение. Возникающие при описанном перемещении, направленные вверх ускорения, воздействуют на зерновой ворох, находящийся на решете и подбрасывают его вверх. Тем самым

интенсифицируя процесс сепарации.

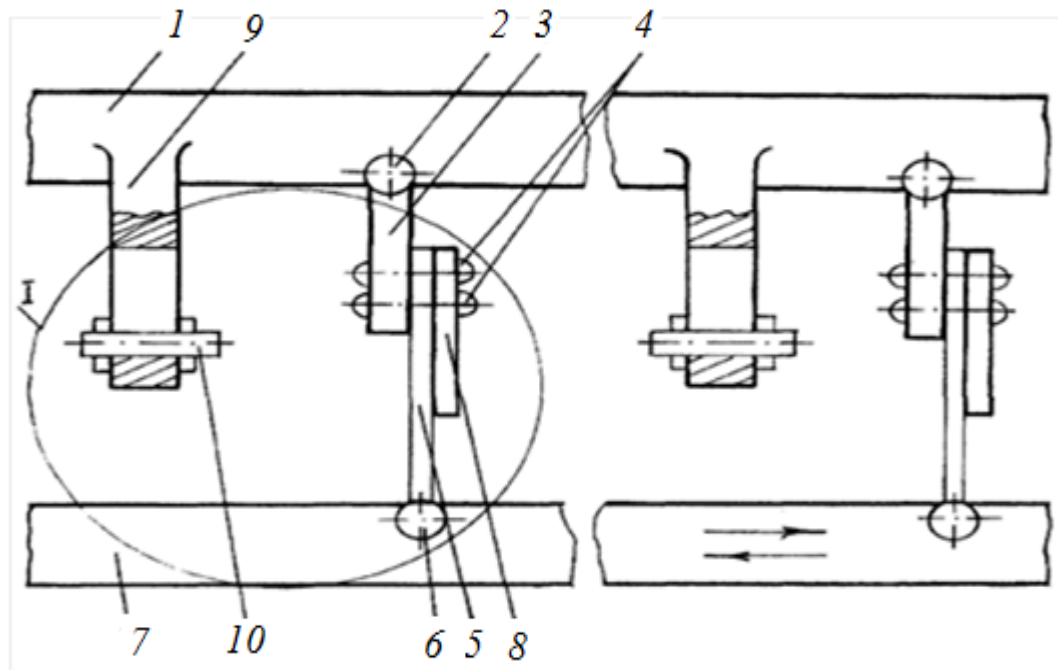


Рисунок 1.11 – Схема подвески решетчатого стана: 1 – рама, 2 – шарнир, 3 – металлическая пластина, 4 – заклепки, 5 – плоская пружина, 6 – шарнир, 7 – решетчатый стан, 8 – вторая металлическая пластина, 9 – кронштейн, 10 – упор

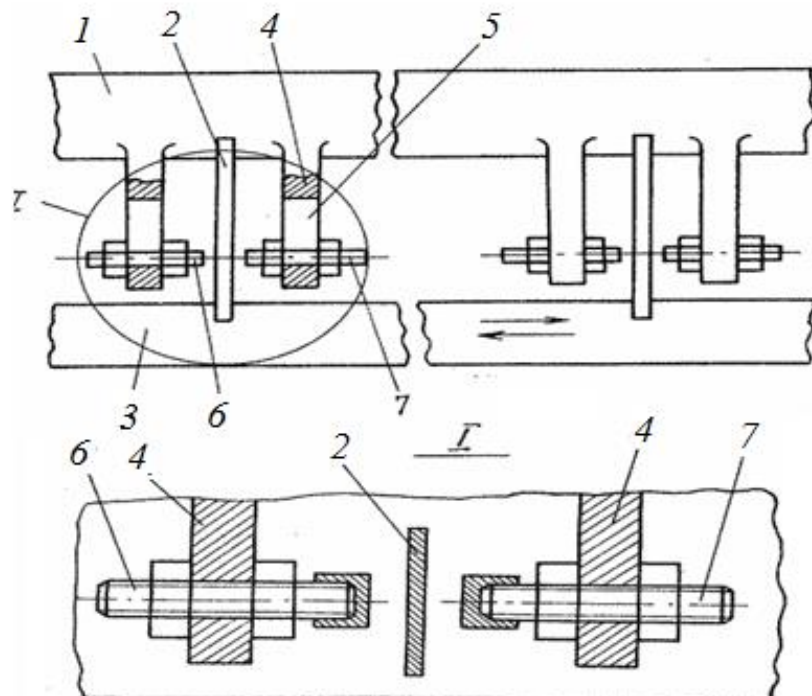


Рисунок 1.12 – Подвеска решетчатого стана зерноочистительной машины: 1 – рама, 2 – плоская пружина, 3 – решетчатый стан, 4 – кронштейн, 5 – паз, 6 и 7 – упор

При работе решетного стана, подвески 2, приведенные на рисунке 1.16, свободно изгибаются относительно мест крепления на раме до контакта с упорами 6, вокруг которых происходит дальнейший изгиб подвесок, в результате чего решетный стан 3 приобретает вертикальное перемещение. Это перемещение способствует возникновению ускорения, направленного вверх, под действием которого ворох на поверхности решет подбрасывается. При обратном ходе решетного стана 3 плоские пружины 2, изгибаясь относительно точек крепления к раме 1, соприкасаются с упорами 7 и процесс повторяется. Упоры 6 и 7 перемещаются в вертикальном и горизонтальном направлениях, что позволяет регулировать величину вертикальных ускорений на полотнах решет и величину вертикального перемещения решетного стана 3 соответственно. Это позволяет повысить в 1,5 – 2 раза удельную производительность плоских решет, по сравнению с использованием известных конструкций подвесок.

Работа по изучению влияния подвесок решетных станков на эффективность работы зерноочистительных машин активно велась и ведется на кафедре СХМ Воронежского ГАУ такими учеными как Тарасенко А.П., Быков В.С., Оробинский В.И. и другими [29, 31, 32, 33, 35, 36, 39, 40, 42, 44, 46, 135 и т.д.].

Влияние подвесок на процесс сепарации рассматривалось с точки зрения изменения их длины, и при расчетах исходили из соображений обеспечения необходимой надежности работы в условиях знакопеременной нагрузки. Никаких данных о выборе рациональной длины подвесок в литературе не приводилось до исследований Быкова В.С. [30, 34, 38]. Его работа показала, что варьирование длины подвесок приводит к значительному изменению качества работы решета, характер их влияния прямо противоположный для решет, имеющих продолговатые и круглые отверстия. Удельная производительность решета с продолговатыми отверстиями повышается с 2,5...7,3 до 4...10 т/ч·м<sup>2</sup>, а с круглыми – понижается с 11,5...12,5 до 5,3...4,3 т/ч·м<sup>2</sup> с увеличением длины подвесок [41, 42].

Регулирование длины подвесок на решетном сепараторе [55] представлено на рисунке 1.13.



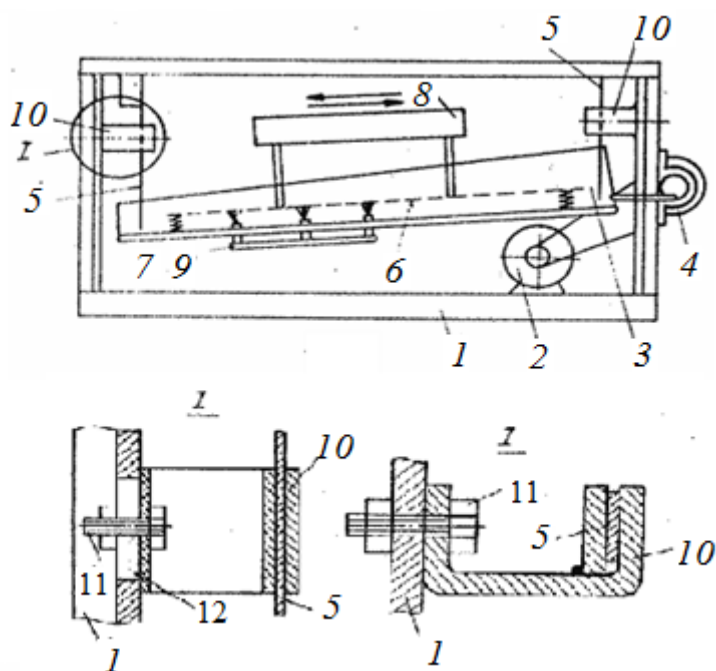


Рисунок 1.13 – Плоскорешетный сепаратор: 1 – рама, 2 – электродвигатель, 3 – решетный стан, 4 – вибропривод, 5 – подвески, 6 – решето, 7 – упругие прокладки, 8 – дебалансный вибратор, 9 – механизм очистки, 10 – кронштейн, 11 – болт, 12 – отверстие

Подвески 5 решетного стана 3 выполнены регулируемы по длине за счет кронштейнов 10, закрепленных с помощью болтов 11, установленных в овальных отверстиях 12, выполненных в раме 1. Кронштейны 10 имеют возможность перемещаться в вертикальном направлении.

Регулирование длины подвесок 5 происходит бесступенчато, за счет перемещения по вертикали кронштейна 10 в овальных отверстиях 12. При этом наибольшая производительность для решет с продолговатыми отверстиями достигается при максимальной длине подвесок 5 (при крайнем верхнем положении кронштейна 10), поскольку наиболее эффективно процесс сепарации на таких решетках осуществляется при скольжении очищаемого материала по решетку. Большая длина подвесок 5 обеспечивает режим со скольжением частиц по поверхности решета 6. При использовании решет с круглыми отверстиями наибольшая производительность достигается при минимальной длине подвесок 5 (при крайнем нижнем положении кронштейнов 10), поскольку малая длина подвесок обеспечивает режимы работы решета с подбрасыванием материала,

наиболее выгодные для решет с круглыми отверстиями.

Для быстрого регулирования длины подвесок, могут применяться многоуровневые, ступенчатые и универсальные подвески [122, 123 126, 127]. Конструктивная схема многоуровневой подвески изображена на рисунке 1.14 [122].

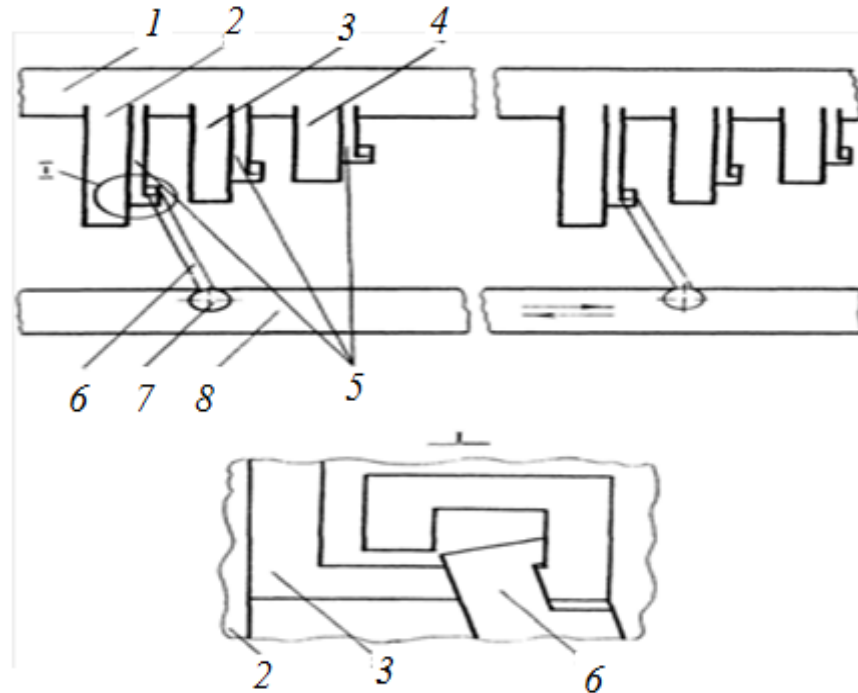


Рисунок 1.14 – Схема многоуровневой подвески: 1– рама,  
2, 3, 4 – кронштейны, 5 – сцепные устройства, 6 – плоская пружина,  
7 – шарнир, 8 – решетный стан

Подвеска включает жестко закрепленные на раме 1 кронштейны 2, 3, 4 и с кронштейнами сцепные устройства 5, посредством которых присоединяются плоские пружины 6, закрепленные шарнирами 7 к решетному стану 8. При работе, она изгибается вокруг кронштейна, это позволяет решетному стану приобретать вертикальное перемещение. Возникающие при этом ускорения, направленные вверх, способствуют подбрасыванию зернового вороха на решетке. Изменение длины подвески возможно за счет ее крепления на различных уровнях, что создает различные по величине вертикальные перемещения, и позволяет получить требуемую степень подбрасывания семенного материала [45, 47].

Применение универсальной подвески решетного стана семяочистительной машины [126], один конец которой крепится к стану шарнирно, а к раме при помощи шпильки с резьбовым концом, с возможностью вертикального перемещения, что позволяет достаточно быстро изменять общую длину подвески. Для обеспечения вертикальной составляющей перемещения в решетном стане предусмотрены металлические стержни с резьбовым концом, установленные с передней стороны подвески на боковине решетного стана с возможностью вертикального перемещения. Схема универсальной подвески изображена на рисунке 1.15.

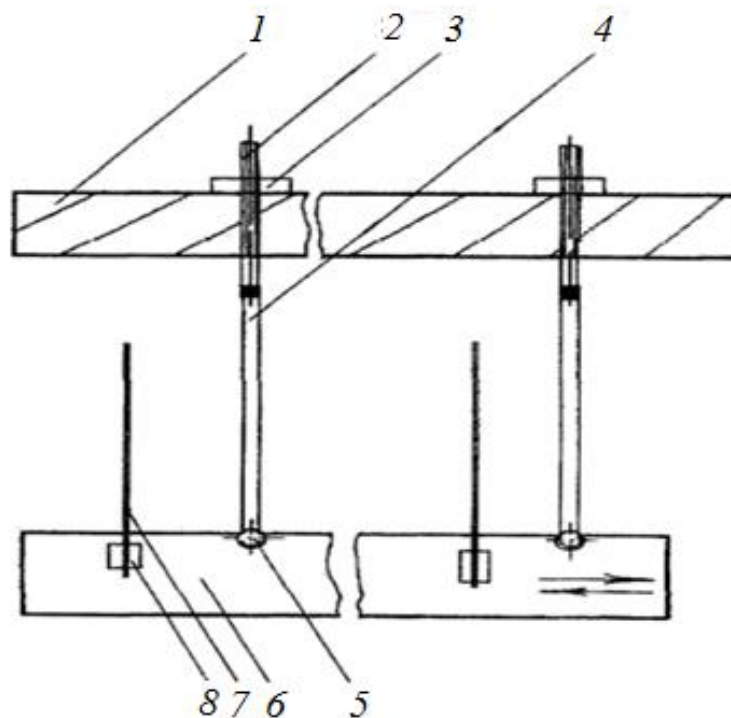


Рисунок 1.15 – Схема универсальной подвески: 1 – рама, 2 – шпилька, 3 – гайка, 4 – плоская пружина, 5 – шарнир, 6 – решетный стан, 7 – металлический стержень, 8 – резьбовое крепление

Использование подвесок, представленных на рисунках 1.14 1.15 при сепарировании семян лесных пород деревьев, позволяет повысить количество проходовой фракции на 8...30 % при увеличении частоты колебаний с 250 до 500 мин<sup>-1</sup>.

Все выше рассмотренные подвески, установленные вертикально или наклонно в одну сторону, ограничивают функциональные возможности работы

решетного стана при сортировании различных культур сельскохозяйственного назначения.

Недостатками плоских пружин являются недолговечность работы и то, что вследствие встряхивания семенного материала на полотне решета в обоих направлениях движения решетного стана сгруживаемость семенного материала происходит и в начале, и в конце полотна решета.

При использовании воздушно-решетных и решетных сепараторов на невяном ворохе озимой пшеницы 50,1...56,6 % свободного зерна, находящегося в ворохе, не успевает пройти через слой [149]. Увеличение скорости прохождения зерна возможно за счет разработки методов воздействия на ворох, позволяющих повысить пористость обрабатываемого материала [31, 37, 43, 58, 69, 105, 113]. Активизировать сепарацию зернового слоя дополнительными рабочими органами, или за счет изменения режимных или кинематических параметров решетного стана не удавалось, из-за недостаточного изучения некоторых элементов машин [37]. Так, мало изучено воздействие подвесок решетного стана на характер движения зернового материала по поверхности решета.

Ход процесса сепарации зерновых смесей на плоских решетках зерноочистительных машин обуславливается кинематическими параметрами – амплитудой и частотой колебаний решетного стана. Для возникновения колебательного движения решета в существующих отечественных и зарубежных конструкциях зерноочистительных машин предусмотрен механизм привода [28, 49, 72, 75, 84, 86, 87, 97, 98]. В общем случае он включает в себя электродвигатель или другой силовой агрегат, механизмы передачи и преобразования вращательного движения от двигателя в возвратно–поступательное движение решета.

Рассмотрим механизмы привода решетных станков, используемых на зерноочистительных машинах. Например, в ворохоочистителе ВО-50 [25] для приведения ситового кузова в возвратно-поступательное колебание установлен самобалансный двухвальный колебатель, приводимый клиноременной передачей от электродвигателя мощностью 1,7 квт с числом оборотов 1420 в минуту через

контрпривод. А каждый решетный стан машины ОВП-20 [55] приводится в колебательное движение деревянными шатунами, получающими движение от эксцентрикового вала.

Для сообщения горизонтального колебания двум ситовым кузовам сепаратора ЗСМ-50 предусмотрен, соединенный между ними, инерционный колебатель, который приводится во вращательное движение от электродвигателя через клиноременную передачу. Колебатель устроен так, что при его вращении он сообщает кузовам толчки в прямо противоположных направлениях, благодаря чему силы инерции кузовов уравниваются [55].

В сепараторе ЗСП-5 [25], который изображен на рисунке 1.16, на станине 12 закреплен электродвигатель 1 (двигательный механизм), движение от которого через клиноременную передачу 19 сообщается на эксцентриковый колебатель 3, жестко связанный с ведомыми звеньями исполнительного механизма (с ситовыми кузовами 2 и 4). Каждый из ситовых кузовов прикреплен к станине на четырех пружинных подвесках, допускающих их колебания относительно станины.

В ситовых кузовах установлены рабочие органы сепаратора: приемное 6, сортировочное 10, разгрузочное 11 и подсевное 16 сита. Сита от застрявших в отверстиях частиц очищаются инерционными очистительными механизмами 17.

Эксцентриковый колебатель 3, сообщает ситовым кузовам 2 и 4 встречное возвратно-поступательное движение, обеспечивающее уравнивание инерционных сил движущихся масс в горизонтальной плоскости.

Эксцентриковый колебатель, приводящий в движение решетный стан зерноочистительной машины ЗСП-5 включает два больших кронштейна 1, которые соединены стяжными болтами 11 с распорной трубкой 10, двух малых кронштейнов 5, эксцентрикового валика 2 с шарикоподшипниками 8 и двумя клиноременными шкивами 3, ось 7, установленную неподвижно в малых кронштейнах; обоймы 4 с шарикоподшипниками 6 и 9. Шкивы 3 снабжены приливами, которые выполняют роль дополнительных балансов при вращении эксцентрикового вала, которые компенсируют разницу в массе двух кузовов.

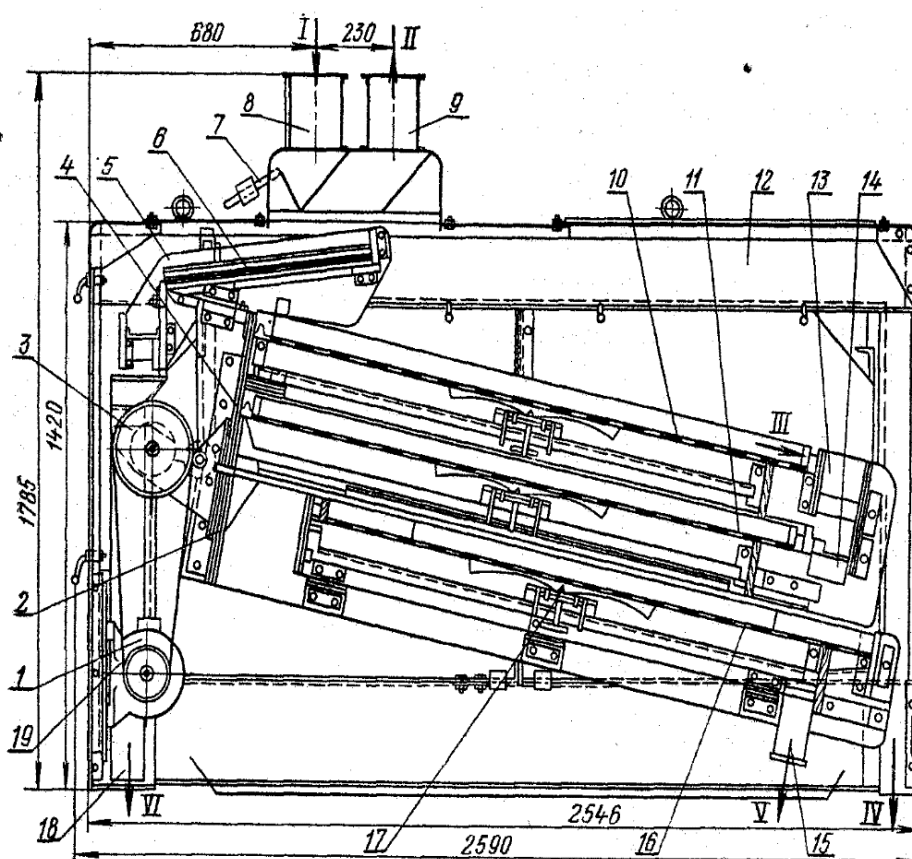


Рисунок 1.16 – Сепаратор ЗСП–5: 1 – электродвигатель, 2 – нижний ситовой кузов, 3 – эксцентриковый колебатель, 4 – верхний ситовой кузов, 5 – приемная коробка, 6 – приемное сито, 7 – грузовой клапан, 8 – приемный патрубок, 9 – аспирационный патрубок, 10 – сортировочное сито, 11 – разгрузочное сито, 12 – станина, 13,14 – каналы, 15 – патрубок, 16 – подсевное сито, 17 – механизм очистки сит, 18 – патрубок, 19 – клиноременная передача

В рассматриваемом устройстве предусмотрено два шкива, один из которых используется для привода колебателя, второй для получения дополнительной центробежной силы, действующей в плоскости, проходящей через ось ситовых кузовов [55].

Когда валик колебателя совершает вращательные движения, под действием его эксцентрической части обойма 4 перемещается относительно оси валика и больших кронштейнов, закрепленных на одном из кузовов сепаратора. Ось 7, малые кронштейны, а с ними другой кузов сепаратора также перемещаются относительно первого кузова.

Оба кузова в горизонтальном направлении жестко не закреплены, они

качаются на пружинных подвесках таким образом, что движения кузовов разнонаправленно по отношению друг к другу. Благодаря этому, силы инерции кузовов взаимно уравниваются и не передаются на станину сепаратора и на перекрытие здания.

Конструкция описанного эксцентрикового колебателя приведена на рисунке 1.17.

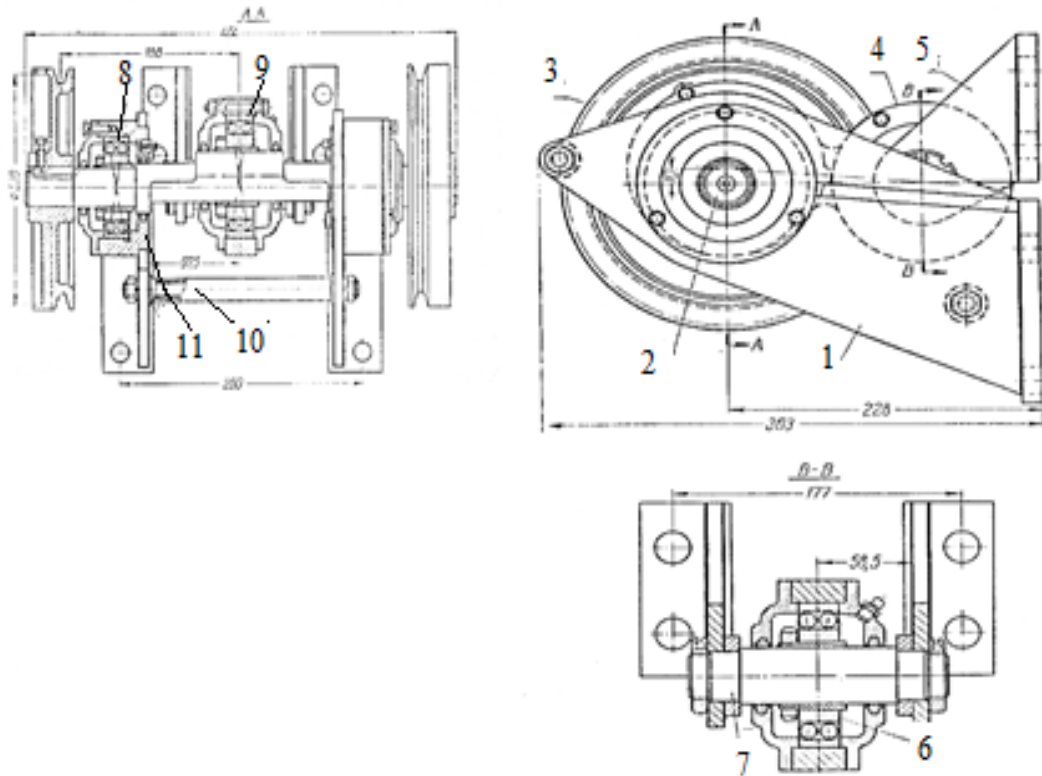


Рисунок 1.17 – Эксцентриковый колебатель: 1 – кронштейн, 2 – эксцентриковый вал, 3 – шкив, 4 – обойма, 5 – малый кронштейн, 6, 8, 9 – шарикоподшипник, 7 – ось, 10 – распорная трубка, 11 – болт

Привод сообщающий решетным станам противофазное движение используется в зарубежных зерноочистительных машинах PETKUS 547 и др [158, 159]. Принцип действия иностранных приводов аналогичен нашим и работает по выше приведенной методике [150], представлен на рисунке 1.18. Мощность электродвигателя в данной машине составляет 1,5 кВт, рабочая частота колебаний решетного стана варьируется от 290 до 320 мин<sup>-1</sup>, постоянный эксцентриситет дает амплитуду колебаний в 15 мм.



Рисунок 1.18 – Привод решетного стана

Привод некоторых зерноочистительных машин может быть выполнен совместно с механизмом очистки решет [8]. Данный привод представлен на рисунке 1.19.

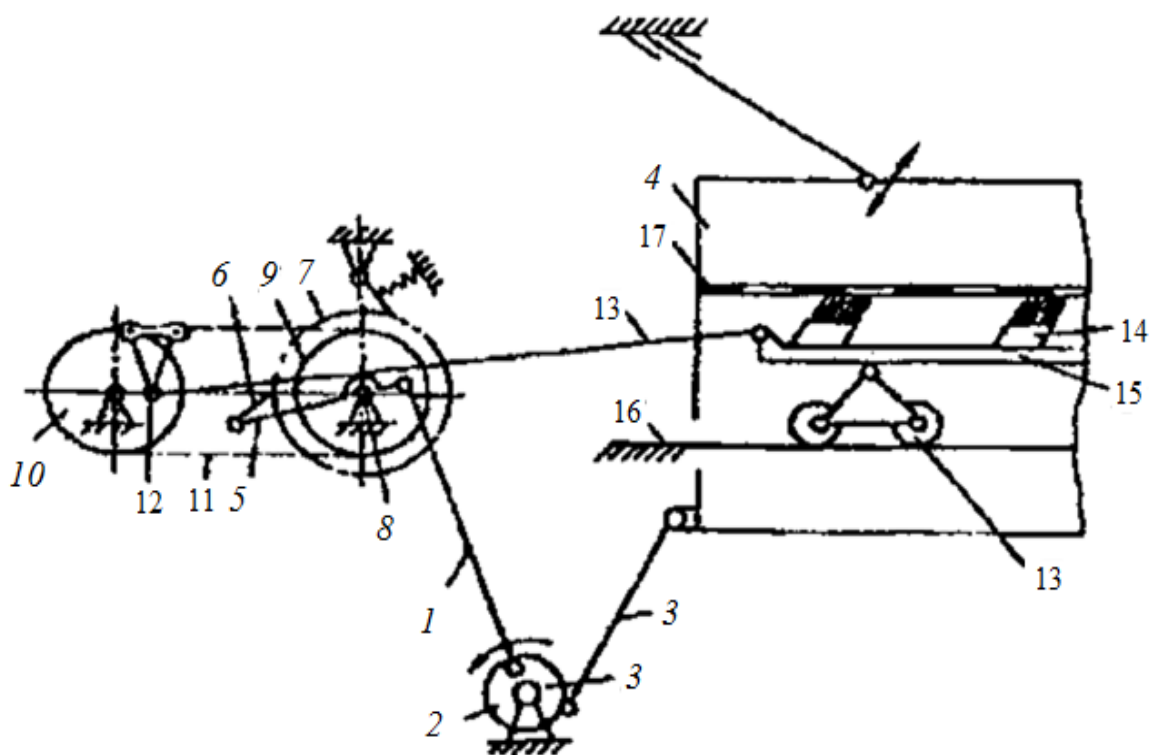


Рисунок 1.19 – Совмещенный механизм привода решетного стана с механизмом очистки: 1 – шатун; 2 – кривошип; 3 – привод; 4 – решётный стан; 5 – рычаг; 6 – собачка; 7 – храповое колесо; 8 – вал; 9 – ведущая звёздочка; 10 – дополнительная звёздочка; 11 – цепь; 12 – кольцо; 13 – тяга; 14 – щётки; 15 – каретка; 16 – направляющие; 17 – решето



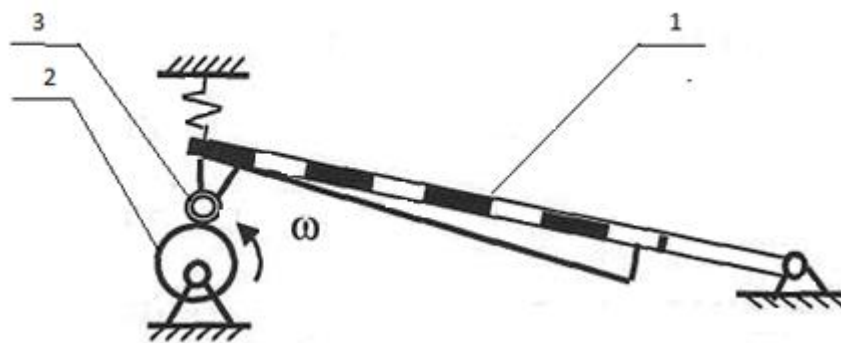
В представленном приводе, вращательное движение двигателя передается кривошипу 2 и преобразуется в возвратно поступательное движение решетного стана 4 и рычага 5. Когда решето поднимается из нейтрального положения под действием привода 3 происходит рабочий ход колеса 7 механизма очистки. Это связано с тем, что синхронизирован момент начала рабочего хода колеса 7 и момент нейтрального положения решётного стана 4. Далее храповое колесо 7 поворачивает вал 8 вместе с ведущей звёздочкой 9 цепи 11, которая начав движение через тягу 13 продвигает каретку 15 по направляющей 16 вдоль решета 17. Когда кривошип 2 повернется на пол оборота, каретка 15 перемещается в течение полупериода колебаний решета 17 и останавливается. За это время решето 17 поднимается в верхнюю мёртвую точку и снова опустится в нейтральное положение. Слой обрабатываемого материала на решете при этом подбрасывается. Последующие пол–оборота кривошипа 2 будут соответствовать холостому ходу рычага 5 и соответственно храпового колеса 7, при этом каретка 15 со щётками 14 двигаться не будет. Решето 17 продолжает опускаться и около нижней мертвой точки оно натывается на ворс щёток 14, которые удаляют застрявшие частицы из отверстий решета 17. Далее решето 17 совместно с решётным станом 4 снова поднимается, разрывая контакт щёток 14 с поверхностью решета. Далее работа устройства повторяется. В процессе работы каретка совершает возвратное движение. Очень большое значение в данном и подобных механизмах имеет синхронизация привода решетного стана с техническими параметрами механизма очистки решет.

В ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» такими учеными как В.Г. Чумаков, А.А. Лопан, И.В. Шевцов и другими [97, 101, 108, 153, 154], было предложено несколько кинематических схем решетных устройств, по которым получены авторские свидетельства и патенты [2, 4, 5, 9, 121], для пневморешетного сепаратора, с изменяющимися кинематическими параметрами и обоснованы параметры их работы [155, 156]. В таком сепараторе подвешен только один конец решета, а движение может сообщаться либо подвешенному концу решета, либо нет. На рисунке 1.20 возвратно-

поступательное движение сообщается от эксцентрика через кулачок подвешенному концу решета.

Противоположная описанной выше ситуация представлена на рисунке 1.21, где один конец решета закреплен подвеской, а второй жестко связан с эксцентриковым приводом, при этом в плоскости эксцентрика решето подпружинено.

Рисунок 1.22 показывает аналогичную ситуацию, которая описывалась выше, только с отличием в том, что ось привода перпендикулярна плоскости решета. Данные технические решения позволяют изменять кинематические параметры решетного стана зерноочистительной машины и менять характер движения зерновой массы по решету, тем самым стимулируя процесс сепарирования.



. Рисунок 1.20 – Кинематическая схема решетного устройства с кулачковым приводом: 1 – решето, 2 – эксцентриковый вал, 3 – кулачок

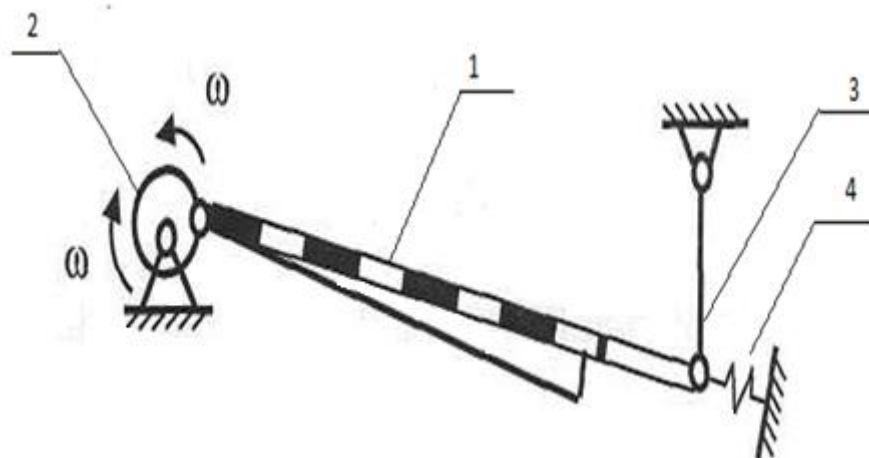


Рисунок 1.21 – Кинематическая схема решетного устройства с эксцентриковым приводом: 1 – решето, 2 – эксцентриковый вал, 3 – подвеска, 4 – пружина

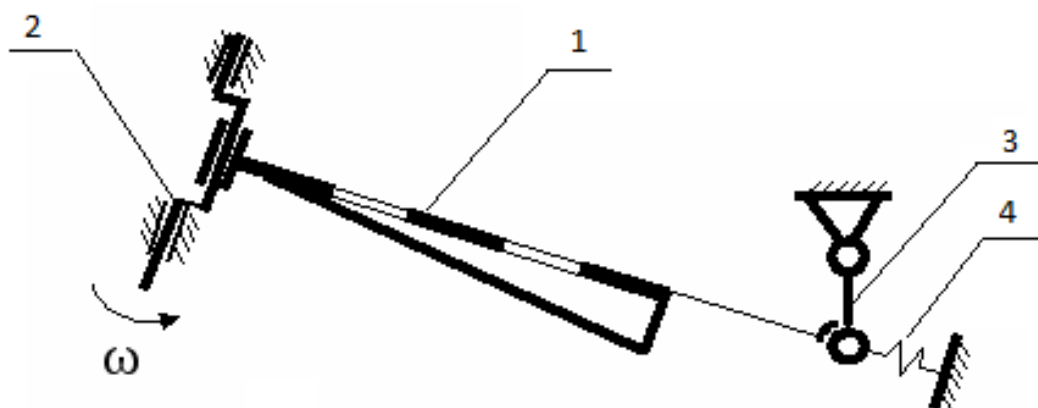


Рисунок 1.22 – Кинематическая схема решетного устройства с эксцентриковым приводом, ось которого перпендикулярна плоскости решета:

1 –решето, 2 – эксцентриковый привод, 3 – подвеска, 4 – пружина

Проанализировав механизмы приводов зерноочистительных машин можно сказать, что работают они все по одной ниже приведенной схеме. Привод колебания решетного стана осуществляется за счет эксцентрикового механизма, жестко связанного ведомыми звеньями исполнительного механизма с ситовыми кузовами, которые прикреплены к станине на подвесках, допускающих их колебание относительно станины. При этом в крайних положениях решетного стана возникают значительные инерционные силы, зависящие от его массы, амплитуды и частоты колебаний, которые передаются с одной стороны на корпус, с другой, на эксцентрик через соединительные звенья, при этом они частично гасятся за счет демпфирования. Так увеличение частоты колебаний на 10 % и эксцентриситета на 20% повышает напряжения в деталях механизма привода и подвески решетных станов на 40%, что в конечном итоге снижает надежность работы и производительность зерноочистительной машины в целом.

Многочисленные исследования и предложенные технические решения систем привода решенных станов и механизмов подвески дают основания для поиска новых наиболее простых и надежных в эксплуатации механизмов, и систем решетного стана с теоретическим и экспериментальным обоснованием предложенных решений.

## 1.4 Выводы

1. Используемые в настоящее время шариковые и щеточные очистители решет имеют ряд существенных недостатков и требуется дальнейшее совершенствование рабочих органов механизма очистки.
2. Отсутствуют данные по использованию разнонаправленных подвесок решетного стана.
3. Нет технических решений по снижению инерционных нагрузок в приводе решетного стана.
4. В существующих решетных зерноочистительных машинах процесс сепарации зерна на плоских решетках малоэффективен и нуждается в дальнейшем изучении с целью модернизации конструкции и оптимизации режимов работы для повышения качества продукции и снижения энергозатрат.

## **2. Теоретические предпосылки совершенствования устройства для очистки плоских решет и привода решетного стана**

### **2.1. Обоснование конструктивных и режимных параметров устройств для очистки решет**

В процессе производства зерна для подготовки семенного и продовольственного материала используют решетные зерноочистительные машины. Одним из слабых мест таких машин является система очистки решет, так как их забиваемость негативно сказывается на эффективности сепарации и производительности машины в целом [67, 112, 140].

Для очистки поверхности решет на современных зерноочистительных машинах в основном используются шариковые очистители – из-за их высокой надежности, простоты применения и низкой стоимости по сравнению с аналогами [50, 110, 136]. Но, несмотря на все преимущества, их применение не дает абсолютной очистки поверхности решета от застрявших в отверстиях элементов зернового вороха, так как шарик совершает хаотичные перемещения и его взаимодействие с поверхностью решета носит вероятностный характер. Убрать такой недостаток с сохранением выше перечисленных достоинств позволит применение для очистки решет очистителя в виде пружины (Приложение А) [118]. Благодаря своей конструкции данный очиститель контактирует с поверхностью решета всеми витками, что позволяет увеличить площадь контакта и соответственно эффективность очистки. Исходя из опытных данных использование очистителя в виде пружины по сравнению с шариками позволит увеличить эффективность сепарации на 5-16 % в зависимости от режимов работы решетного стана. Для оптимизации этих режимов необходимы теоретические исследования по определению оптимальных амплитуды и частоты колебаний решетного стана. Также требует анализа процесс контактирования очистителя с отражательной поверхностью и влияния ее формы на площадь контакта за единицу времени [117].

### 2.1.1 Движение очищающего элемента по подрешетному пространству

Рассмотрим движение решетного стана под действием вращения эксцентрика (Рис. 2.1).

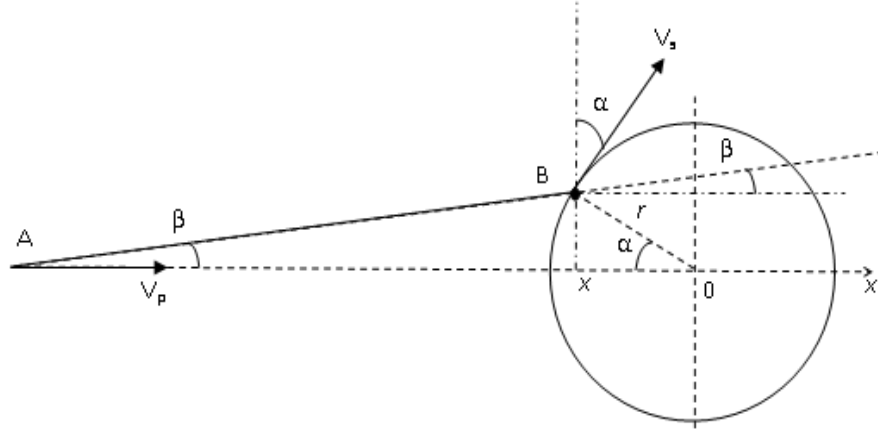


Рисунок 2.1 – К определению горизонтальной скорости решетного стана

Амплитуда горизонтальных колебаний решетного стана равна  $2r$ , где  $r$  – радиус эксцентрика,  $V_p$  – горизонтальная скорость решетного стана,  $V_3$  – линейная скорость точки эксцентрика,  $AB$  – рычаг, шарнирно соединяющий решетный стан с эксцентриком. По теореме о проекции скоростей точек плоской фигуры на направление отрезка, их соединяющего, получаем соотношение:

$$V_p \cos\beta = V_3 \cos(\pi/2 - \alpha - \beta), \text{ или } V_p \cos\beta = V_3 \sin(\alpha + \beta),$$

или

$$V_p \cos\beta = V_3 (\sin\alpha \cos\beta + \sin\beta \cos\alpha). \quad (2.1)$$

Разделив равенство (2.1) на  $\cos\beta$ , получаем

$$V_p = V_3 (\sin\alpha + \tg\beta \cos\alpha). \quad (2.2)$$

Из рисунка 2.1 видно, что  $\sin\beta = r \frac{\sin\alpha}{AB}$ . Тогда

$$\tg\beta = \frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \frac{r \frac{\sin\alpha}{AB}}{\sqrt{1 - \left(r \frac{\sin\alpha}{AB}\right)^2}} = \frac{r \sin\alpha}{\sqrt{AB^2 - r^2 \sin^2 \alpha}}.$$

Подставив последнее выражение в (2.2), получаем

$$V_p = V_3 \sin \alpha \left( 1 + \frac{r \cos \alpha}{\sqrt{AB^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} \right).$$

Из рис. 1 видно, что  $r \cos \alpha = -x$ , а  $\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{x^2}{r^2}} = \frac{\sqrt{r^2 - x^2}}{r}$ .

Тогда

$$V_p = V_3 \frac{\sqrt{r^2 - x^2}}{r} \left( 1 - \frac{x}{\sqrt{AB^2 - (r^2 - x^2)}} \right).$$

Отметим, что при реальных радиусах эксцентрика и его расположения относительно решетчатого стана, величина выражения  $\frac{x}{\sqrt{AB^2 - (r^2 - x^2)}}$  намного меньше единицы и, с целью более наглядных выкладок, горизонтальную скорость решетчатого стана будем вычислять по формуле:

$$V_p = V_3 \frac{\sqrt{r^2 - x^2}}{r}.$$

Обозначая угловую скорость вращения эксцентрика  $V_3/r$  через  $\omega$ , а скорость решетчатого стана  $V_p$  через  $V$ , получаем

$$V = \omega \sqrt{r^2 - x^2}. \quad (2.3)$$

Из этой формулы видно, что при  $x = \pm r$  скорость решетчатого стана равна нулю, а при  $x = 0$  скорость  $V$  максимальна и равна  $\omega r$ . Для дальнейшего определения закона относительного движения очистительного элемента одной из важнейших характеристик является ускорение решетчатого стана  $a$ , которое в последующем будет представлять собой переносное ускорение при движении очистительного элемента. Для определения этого ускорения продифференцируем скорость  $V$  по времени  $t$ . Учитывая, что

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dV}{dx} \cdot V, \text{ получаем}$$

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dV}{dx} \cdot V = -\omega \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} \cdot \omega \sqrt{r^2 - x^2} = -\omega^2 x. \quad (2.4)$$

Таким образом, при амплитуде движения решетчатого стана, равной  $2r$ , в

крайних точках  $x = \pm r$  – ускорение максимально, а при  $x=0$  скорость максимальна, а ускорение равно нулю.

Рассмотрим движение решетного стана в некотором направлении (для определенности вправо вдоль положительного направления оси  $x$ ). В отличие от теоретических исследований перемещения очистителя, проводимых П.М. Заикой [75, 76], мы рассматриваем движение очистительного элемента с учетом его проскальзывания по наклонной поверхности отражательных рифов и вводом дополнительной направляющей поверхности [85].

Подрешетное пространство представляет собой часть плоскости, ограниченной рифами. Рассмотрим первый цикл движения решетного стана, когда он перемещается вправо с ускорением  $a$  вместе с очистительным элементом в виде пружины. При прохождении половины амплитуды движения  $r$  они приобретают максимальную скорость  $V = \omega r$ , как это показано на рисунке 2.2.

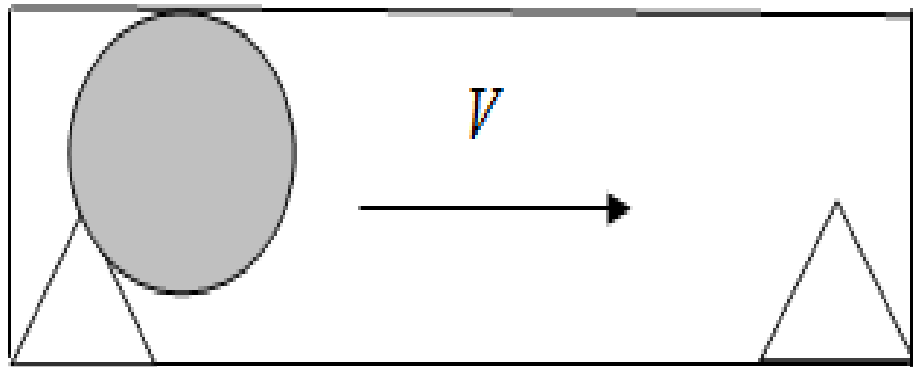


Рисунок 2.2 – Первый цикл движения решетного стана

На втором цикле движения скорость решетного стана начинает уменьшаться, а очиститель в виде пружины продолжает двигаться с абсолютной скоростью  $V$ .

Начальная относительная скорость  $v$  очистительного элемента в этот момент равна нулю. Рассмотрим относительное движение очистителя в виде пружины по наклонной плоскости рифа до основания подрешетного пространства высоты  $b$ .

Составим систему уравнений плоского относительного движения очистителя по наклонной плоскости (см. рис. 2.3):



$$\begin{cases} m\ddot{z} = \sum F_{iz} \\ J_C \varepsilon = \sum m_C (\bar{F}_i)' \end{cases}$$

Здесь  $z$  – координата центра сечения очистителя в виде пружины,  $\varepsilon$  и  $J_C$  – соответственно угловое ускорение очистителя и его момент инерции относительно центральной оси.

Учитывая, что  $-ma = m\omega^2 x = m\omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha$ , получаем

$$m\ddot{z} = mg \sin\alpha + m\omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha - N_2, \quad (2.5)$$

$$J_C \varepsilon = N_2 R - N_1 \mu. \quad (2.6)$$

Отметим, что по закону сопротивления при качении, нормальная реакция  $N$  сдвинута на некоторое расстояние  $\mu$  от центра касания и разложена на две составляющие:  $N_1$ , перпендикулярную плоскости качения и силу сцепления  $N_2$ .

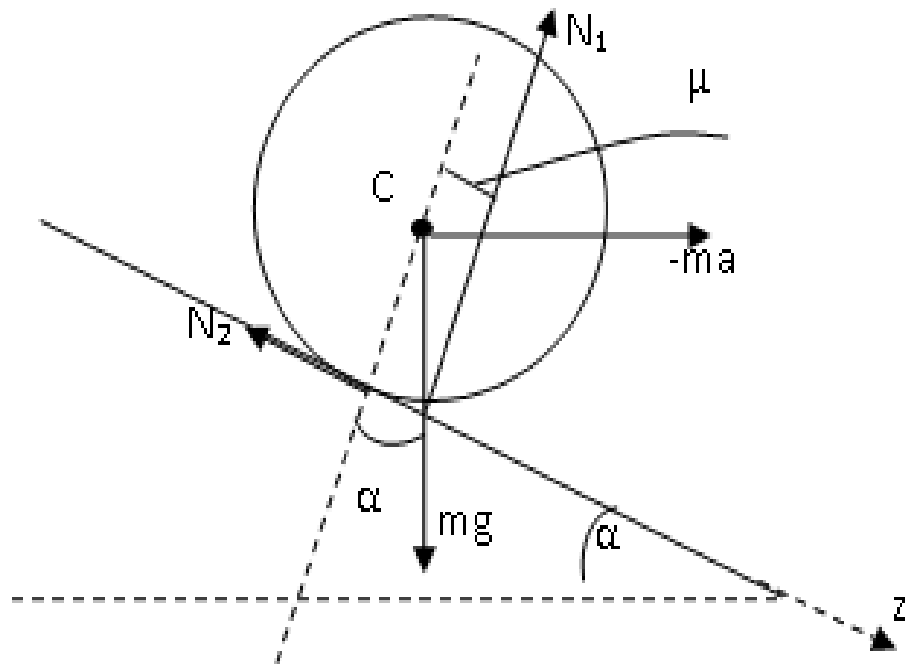


Рисунок 2.3 – К движению очистительного элемента по наклонной плоскости

Учитывая тот факт, что движение перпендикулярно наклонной плоскости отсутствует,  $N_1 = mg \cos\alpha - m\omega^2 r \sin\omega t \sin\alpha$ .

Принимая момент инерции сечения очистителя в виде пружины равным моменту инерции обода, из уравнения (2.6) получаем, что  $mR^2 \varepsilon = N_2 R - N_1 \mu$ .

Так как  $\varepsilon R = \ddot{z}$ , после деления на  $R$  и введения коэффициента сопротивления качению  $f = \frac{\mu}{R}$ , приходим к соотношению:

$$m\ddot{z} = N_2 - N_1 f . \quad (2.7)$$

Приравнявая правые части уравнений (2.5) и (2.7), получаем:

$$N_2 - N_1 f = mg \sin\alpha + m\omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha - N_2 .$$

Выражая  $N_2$  из последнего выражения, получаем

$$N_2 = \frac{1}{2} (N_1 f + mg \sin\alpha + m\omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha),$$

или

$$N_2 = \frac{1}{2} (fmg \cos\alpha - f m \omega^2 r \sin\omega t \sin\alpha + mg \sin\alpha + m\omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha). \quad (2.8)$$

Критический угол наклонной плоскости, при котором начинается скольжение по ней очистителя в виде пружины можно определить из соотношения:

$N_2 = kN_1$ , где  $k$  – коэффициент сцепления. Последнее уравнение после сокращения на массу дает:

$$\begin{aligned} fg \cos\alpha - f\omega^2 r \sin\omega t \sin\alpha + g \sin\alpha + \omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha = \\ = kg \cos\alpha + k\omega^2 r \sin\omega t \sin\alpha \end{aligned}$$

Разделив это уравнение на  $\cos\alpha$ , выразим из него  $\operatorname{tg}\alpha$ :

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2kg - fg - \omega^2 r \sin\omega t}{g + (2k - f)\omega^2 r \sin\omega t} . \quad (2.9)$$

Как видно из последнего соотношения, при увеличении времени движения числитель в нем уменьшается, а знаменатель увеличивается, что ведет к уменьшению критического угла наклона наклонной плоскости. Поэтому вопрос о проскальзывании очистителя достаточно рассматривать в начале движения при  $t = 0$ , когда формула (2.9) принимает вид:

$$\operatorname{tg}\alpha = 2k - f . \quad (2.10)$$

Так как коэффициент сопротивления качению примерно на порядок меньше, чем коэффициент сцепления, а он не превышает 0,3 для рассматриваемых материалов, то критический угол меньше  $45^\circ$ , поэтому очиститель в виде пружины с момента начала движения проскальзывает по наклонной плоскости.

В связи с этим движение по наклонной плоскости представляет собой скольжение под действием силы тяжести, силы трения  $N_2$  и переносной силы инерции:

$$m\ddot{z} = mg \sin\alpha + m\omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha - N_2,$$

где

$$N_2 = kN_1 = k(mg \cos\alpha - m\omega^2 r \sin\omega t \sin\alpha).$$

Таким образом

$$m\ddot{z} = mg \sin\alpha + m\omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha - k(mg \cos\alpha - m\omega^2 r \sin\omega t \sin\alpha),$$

или

$$\ddot{z} = g \sin\alpha + \omega^2 r \sin\omega t \cos\alpha - k(g \cos\alpha - \omega^2 r \sin\omega t \sin\alpha),$$

или

$$\ddot{z} = \omega^2 r \sin\omega t (\cos\alpha + k \sin\alpha) + g(\sin\alpha - k \cos\alpha). \quad (2.11)$$

Обозначая

$$A = r(\cos\alpha + k \sin\alpha), \quad B = g(\sin\alpha - k \cos\alpha),$$

получаем дифференциальное уравнение вида:  $\ddot{z} = A\omega^2 \sin\omega t + B$ .

Интегрируя два раза это уравнение, получаем:

$$\dot{z} = -A\omega \cos\omega t + Bt + C_1, \quad z = -A \sin\omega t + Bt^2 / 2 + C_1 t + C_2.$$

С учетом нулевых начальных условий, получаем:  $C_1 = A\omega$  и  $C_2 = 0$ .

Окончательно:

$$z = -A \sin\omega t + Bt^2 / 2 + A\omega t, \quad (2.12)$$

$$\dot{z} = -A\omega \cos\omega t + Bt + A\omega. \quad (2.13)$$

Следует обратить внимание, что под действием увеличивающейся переносной силы инерции в некоторый момент времени движения очистителя нормальная реакция  $N_1 = mg \cos \alpha - m\omega^2 r \sin \omega t \sin \alpha$  может обратиться в ноль, и тогда движение продолжится без силы трения. Таким образом, при  $mg \cos \alpha - m\omega^2 r \sin \omega t \sin \alpha = 0$ , или  $\sin \omega t = \frac{g \operatorname{ctg} \alpha}{\omega^2 r}$  можно определить указанный выше момент времени:

$$T_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \left( \frac{g \operatorname{ctg} \alpha}{\omega^2 r} \right). \quad (2.14)$$

Начиная с этого момента закон движения по наклонной плоскости примет вид:

$$\ddot{z} = \omega^2 r \sin \omega t \cos \alpha + g \sin \alpha. \quad (2.15)$$

Подставляя значение  $T_1$  в формулы (2.12) и (2.13) определяем величину перемещения очистительного элемента по наклонной плоскости  $S_1$  и относительную скорость движения очистителя в виде пружины  $V_1$  в конце участка с положительным значением  $N_1$ . Полученные значения  $S_1$  и  $V_1$  являются начальными условиями задачи Коши для дифференциального уравнения (2.15), решение которой имеет вид:

$$\dot{z} = -\omega r \cos \omega t \cos \alpha + g \sin \alpha t + C_1, \quad (2.16)$$

$$z = -r \sin \omega t \cos \alpha + g \sin \alpha t^2 / 2 + C_1 t + C_2, \quad (2.17)$$

где

$$C_1 = V_1 + \omega r \cos \omega T_1 \cos \alpha - g \sin \alpha T_1,$$

$$C_2 = S_1 + r \sin \omega T_1 \cos \alpha - g \sin \alpha T_1^2 / 2 - C_1 T_1.$$

Решая трансцендентное уравнение (2.17) относительно  $t$  и находим время движения  $T$  по наклонной плоскости. Подставляя это значение времени перемещения в уравнение, получим точку контакта наклонной плоскости рифа у основания подрешетного пространства с горизонтальной координатой  $X_1$ .

Проведя расчеты по приведенному выше алгоритму, можно определить время движения по наклонной плоскости и скорость в конце этого цикла движения. На третьем цикле движения очиститель в виде пружины начинает двигаться по направляющей кривой под действием переносного ускорения с начальной скоростью, приобретенной на втором цикле движения (см. рис. 2.4).

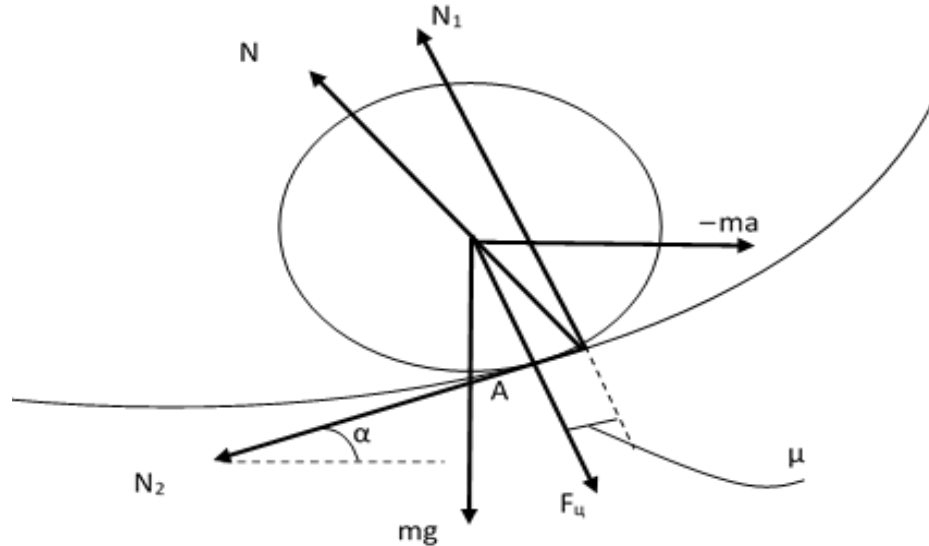


Рисунок 2.4 – К определению движения очистителя в виде пружины по направляющей кривой

Составим систему уравнений плоского относительного движения по направляющей кривой  $y = y(x)$ , имеющей форму окружности с радиусом, превышающем радиус сечения очистителя в виде пружины:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \sum F_{ix} \\ J_C \varepsilon = \sum m_C (\bar{F}_i) \end{cases}$$

Учитывая, что  $-ma = m\omega^2 r \sin\omega t$ , получаем:

$$m\ddot{x} = -mg \sin\alpha + m\omega^2 r \sin\omega t - N_2 \cos\alpha - N_1 \sin\alpha, \quad (2.18)$$

$$J_C \varepsilon = N_2 R - N_1 \mu. \quad (2.19)$$

Для определения  $N_1$  составим уравнение проекций сил на нормаль к кривой:

$$N_1 - F_{ц} - mg \cos\alpha - m\omega^2 r \sin\omega t = 0,$$

откуда

$$N_1 = F_{\text{ц}} + mg \cos \alpha + m\omega^2 r \sin \omega t.$$

Здесь  $F_{\text{ц}}$ -центробежная сила, равная  $F_{\text{ц}} = \frac{mv^2}{R_1}$ , где  $v$ -скорость колеса,

$R_1$  – радиус кривизны направляющей окружности.

Из уравнения (2.19) получаем:

$$mR^2 \varepsilon = N_2 R - N_1 \mu.$$

После деления на  $R$ :

$$m\varepsilon R = N_2 - N_1 f.$$

Так как  $\varepsilon R$  – это ускорение центра пружины, то  $\varepsilon R = \ddot{x} / \cos \alpha$ , откуда

$$N_2 = m\ddot{x} / \cos \alpha + N_1 f.$$

Тогда

$$m\ddot{x} = -mg \sin \alpha + m\omega^2 r \sin \omega t - (m\ddot{x} / \cos \alpha + N_1 f) \cos \alpha - \left( \frac{mv^2}{R_1} + mg \cos \alpha + m\omega^2 r \sin \omega t \right) \sin \alpha,$$

или

$$2m\ddot{x} = -mg \sin \alpha + m\omega^2 r \sin \omega t - \left( \frac{mv^2}{R_1} + mg \cos \alpha + m\omega^2 r \sin \omega t \right) (\sin \alpha + f \cos \alpha),$$

или

$$\ddot{x} = 0,5 \left[ -g \sin \alpha + \omega^2 r \sin \omega t - \left( \frac{v^2}{R_1} + g \cos \alpha + \omega^2 r \sin \omega t \right) (\sin \alpha + f \cos \alpha) \right].$$

Входящее в это уравнение выражение квадрата скорости можно преобразовать следующим образом:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = \dot{x}^2 + \left( \frac{dy}{dt} \right)^2 = \dot{x}^2 + \left( \frac{dy}{dx} \frac{dx}{dt} \right)^2 = \dot{x}^2 + y'^2 \dot{x}^2 = \dot{x}^2 (1 + y'^2)$$

$$\text{Используя известные формулы: } \sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \text{ и } \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}},$$

а также тот факт, что  $\operatorname{tg} \alpha = y'$ , где через  $y'$  обозначена производная по  $x$  от

уравнения окружности направляющей поверхности, получаем:

$$\ddot{x} = 0,5 \left[ -\frac{gy'}{\sqrt{1+y'^2}} + \omega^2 r \sin\omega t - \left( \frac{\dot{x}^2(1+y'^2)}{R_1} + \frac{g}{\sqrt{1+y'^2}} + \omega^2 r \sin\omega t \right) (y' + f) / \sqrt{1+y'^2} \right].$$

Начальными условиями на этом участке движения будут следующие параметры:  $t = T_1$ ,  $x = X_1$ ,  $\dot{x} = V_1$ .

Численное решение полученной задачи Коши позволит определить время окончания движения  $T_2$  по направляющей поверхности, а также горизонтальную  $V_x$  и вертикальную  $V_y$  составляющие скорости схода с нее.

В конце этого цикла очиститель в виде пружины отрывается от направляющей поверхности и в следующем цикле совершает полет, описываемый известной системой квазилинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \\ \ddot{y} = -k\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g \end{cases} \quad (2.20)$$

с начальными условиями:

$$x(T_2) = x_0, y(T_2) = y_0, \dot{x}(T_2) = V_x, \dot{y} = V_y. \quad (2.21)$$

Здесь  $x$  и  $y$  – соответственно горизонтальная и вертикальная относительные координаты центра очистителя, м;  $k$  – коэффициент парусности, 1/м.

Численное решение полученной задачи Коши позволит определить время полета  $T_3$  очистителя в виде пружины до достижения решета, а также координаты точки их соприкосновения.

В следующем подразделе мы рассмотрим численные результаты предложенного алгоритма для конкретной формы участка подрешетного пространства.

### 2.1.2 Численная реализация процесса движения очистителя в виде пружины по участку подрешетного пространства

Для численной реализации процесса движения очищающей пружины по

участку подрешетного пространства введем следующие численные значения необходимых параметров: радиус эксцентрика  $r = 14$  мм, угловая скорость вращения эксцентрика  $\omega = 30\text{с}^{-1}$ , радиус сечения очистителя в виде пружины  $R=22$  мм, высота подрешетного пространства – 28 мм, коэффициент сопротивления качению  $f = 0,01$ , коэффициент сцепления  $k = 0,2$ .

Как было сказано выше, на втором цикле движения очистительный элемент движется по наклонной плоскости рифа до достижения основания подрешетного пространства с нулевой начальной относительной скоростью (см. рис. 2.5). Наклонная плоскость рифа расположена под углом  $45^\circ$  к горизонту.

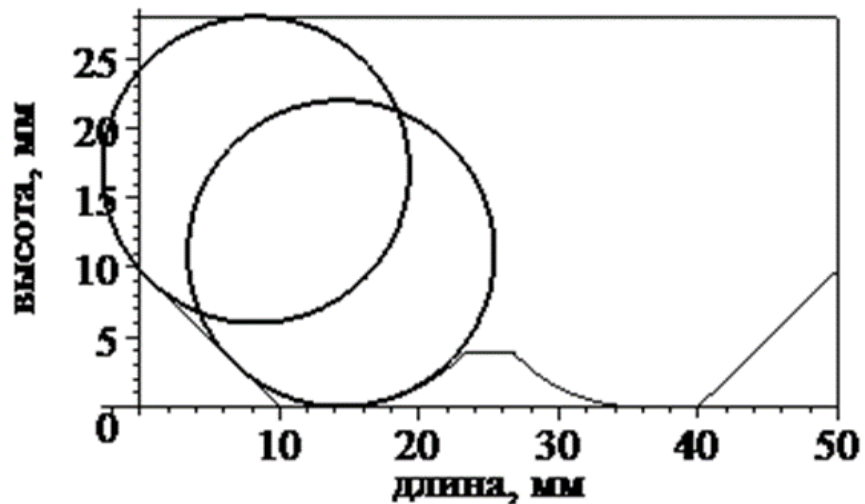


Рисунок 2.5 – Второй цикл движения очистителя в виде пружины

В связи с тем, что уравнение движения по наклонной плоскости может изменяться в зависимости от величины нормальной реакции, закон этого движения разбивается на две части.

Вначале при  $N_1 > 0$  очиститель движется с ускорением

$$\ddot{z} = 10692,5 \sin 30t + 5548.$$

Интегрируя два раза это уравнение с учетом нулевых начальных условий, получаем уравнения скорости и перемещения:

$$\dot{z} = -356,4 \cos 30t + 5548t + 356,4,$$

$$z = -356,4 \sin 30t + 5548t + 356,4.$$



Из формулы (2.12) определяем время движения на первой части наклонной плоскости  $T_1 = 0,0297$  с. Подставляя это значение в последние два уравнения, получаем перемещение  $S_1 = 3,81$  мм и конечную скорость  $V_1 = 297,95$  мм/с. Эти значения являются начальными условиями задачи Коши для дифференциального уравнения (2.13), которое в численном представлении имеет вид:

$$\ddot{z} = 8910,86 \sin 30t + 6935,7.$$

Решение этого уравнения с указанными начальными условиями дают формулы для определения скорости и перемещения очистителя на второй части наклонной плоскости:

$$\begin{aligned} \dot{z} &= -297 \cos 30t + 6935,7t + 277,87, \\ z &= -9,9 \sin 30t + 3467,8t^2 + 277,9t + 0,18. \end{aligned}$$

Подставляя в последнее уравнение значение перемещения по наклонной плоскости  $S = 6$  мм и численно решая полученное трансцендентное уравнение относительно  $t$ , получаем общее значение времени движения по наклонной плоскости:  $T = 0,036$  с, а подстановка этого значения времени в уравнение скорости определяет конечную скорость очистителя в виде пружины в этом цикле движения:  $V = 389,6$  мм/с. Горизонтальная координата центра сечения очистителя при этом составляет  $X_1 = 14,4$  мм. Численная реализация указанного алгоритма приведена в приложении Б «Программа движения очистителя в виде пружины по наклонной плоскости».

На третьем цикле движения очистителя в виде пружины поднимается по криволинейной направляющей поверхности, имеющей форму окружности радиуса  $R_1 = 12$  мм, нижняя часть которой описывается уравнением:

$$y(x) = 12 - \sqrt{144 - (x - 14,4)^2}.$$

Уравнение, описывающее это движение принимает вид:

$$\frac{d^2}{dt^2} x(t) = \frac{4905,0(28,8 - 2x(t))}{\sqrt{144 - (-14,4 + x(t))^2} \cdot \sqrt{4 + \frac{(28,8 - 2x(t))^2}{144 - (-14,4 + x(t))^2}}} + 6300,0 \sin(30t) -$$

$$1.0 \left( \frac{1}{48} \left( \frac{d}{dt} x(t) \right)^2 \right) \left( 4 + \frac{(28.8 - 2x(t))^2}{144 - (-14.4 + x(t))^2} \right) + \frac{19620}{\sqrt{4 + \frac{(28.8 - 2x(t))^2}{144 - (-14.4 + x(t))^2}}} +$$

$$\left( -\frac{1}{2} \frac{28.8 - 2x(t)}{\sqrt{144 - (-14.4 + x(t))^2}} + 0.01 \right)$$

$$+ 12600 \sin(30t) \frac{1}{\sqrt{4 + \frac{(28.8 - 2x(t))^2}{144 - (-14.4 + x(t))^2}}}$$

Начальными условиями на этом участке движения будут следующие параметры:  $t = 0,036$   $x = 14,4$ ,  $\dot{x} = 389,6$ .

Численное решение полученной задачи Коши дает общее время движения в конце направляющей поверхности  $T_2 = 0,0586$  с, а также горизонтальную  $V_x = 322,5$  мм/с и вертикальную  $V_y = 322,5$  мм/с составляющие скорости схода с нее. На рисунке 2.6 показана зависимость горизонтальной скорости очистителя от времени при движении по направляющей окружности.

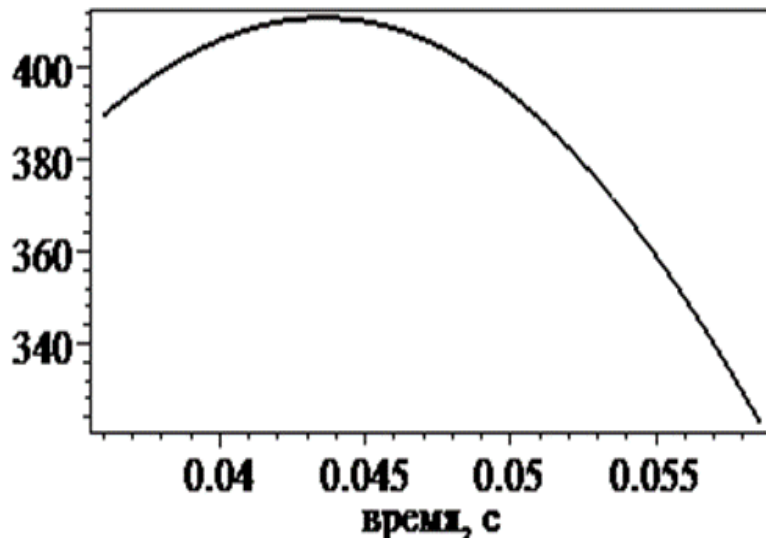


Рисунок 2.6 – Зависимость горизонтальной скорости очистителя в виде пружины от времени при движении по направляющей

Эти значения вместе с начальными координатами:  $X_2 = 23,2$  мм и  $Y_2 = 3,84$  мм являются начальными условиями для следующего цикла движения – полета очистителя в виде пружины (см. рис. 2.7). Численная реализация указанного алгоритма приведена в приложении В «Программа движения очистителя в виде пружины по направляющей окружности».

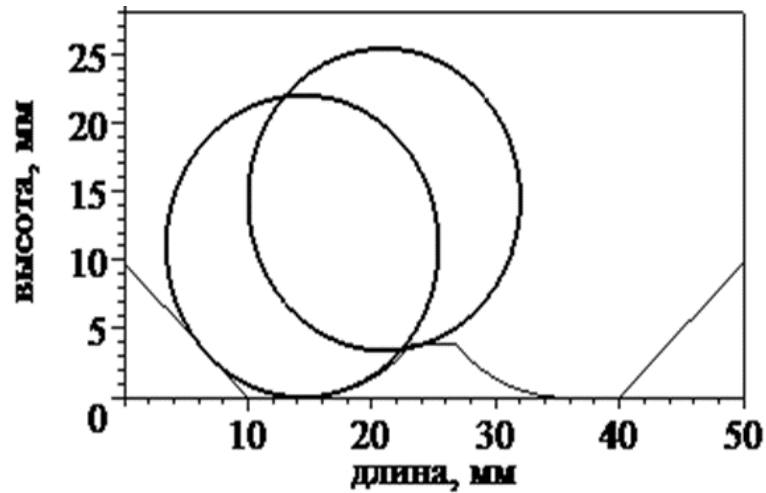


Рисунок 2.7 – Третий цикл движения очистителя в виде пружины

Численное решение задачи (2.18) – (2.19), которая имеет вид:

$$-\left(\frac{d^2}{dt^2}xp(t)\right) + 0.00001 \cdot \left(\frac{d}{dt}xp(t)\right) \cdot \left(\left(\frac{d}{dt}xp(t)\right)^2 \cdot \left(\left(\frac{d}{dt}yp(t)\right)^2\right)^{0.5}\right) - 12600 \sin(30t) = 0$$

$$-\left(\frac{d^2}{dt^2}yp(t)\right) + 0.00001 \cdot \left(\frac{d}{dt}yp(t)\right) \cdot \left(\left(\frac{d}{dt}xp(t)\right)^2 \cdot \left(\left(\frac{d}{dt}yp(t)\right)^2\right)^{0.5}\right) + 9810 = 0$$

$$vv=xp(0.0586)=23.2, yp(0.0586)=3.84, D(xp)(0.0586)=322.5, D(yp)(0.586)=322.5$$

дает значения общего времени движения в этих циклах:  $T = 0,0662$  с и координату соприкосновения с решетом:  $X_3 = 26$  мм. При этом вертикальная скорость при касании решета равна 248 мм/с, что показывает о наличие удара очищающей пружины о решето. На рисунке 2.8 показано расчетное положение очистителя в виде пружины в момент ее контакта с решетом. Численная реализация указанного алгоритма приведена в приложении Г «Программа полета очистителя в виде пружины».

Следует отметить, что четверть периода колебаний решетного стана составляет  $\frac{\pi}{2\omega} = 0,052$  с, что меньше полученного суммарного времени движения очистителя в виде пружины, в связи с чем очищающий элемент встречается с правым рифом в момент его ускоренного движения в левую сторону, и процесс относительного движения очистителя в виде пружины повторяется в

противоположном направлении.

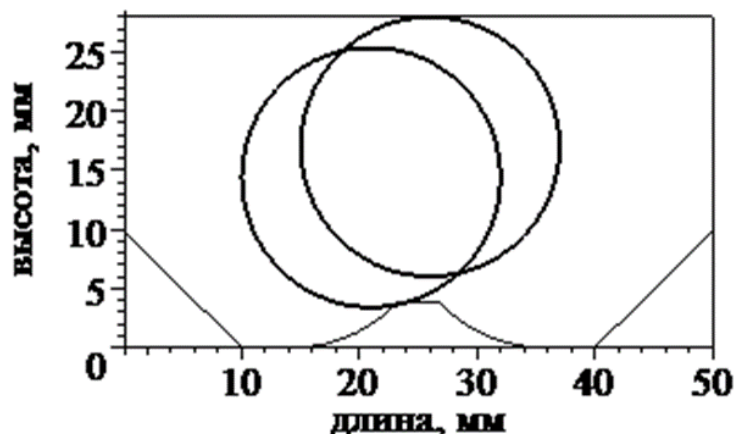


Рисунок 2.8 – Четвертый цикл движения очистителя в виде пружины: полет  
Подставляя в представленные выше уравнения значения амплитуд и частот колебаний, которые в основном используются на зерноочистительных машинах получили определенные соотношения, при которых работа очистителя в виде пружины соответствует представленной теоретической модели.

## 2.2. Обоснование конструктивных и режимных параметров привода решетного стана

В процессе производства зерна самым ответственным и энергоемким процессом является послеуборочная обработка. Для нее в основном используются решетные зерноочистительные машины, установленные в технологические линии, привод которых осуществляется за счет эксцентрикового механизма, преобразующего вращательное движение от электродвигателя в колебательное движение решетного стана посредством жестко связанных звеньев исполнительного механизма. В крайних положениях решетного стана возникают значительные инерционные силы, зависящие от его массы, амплитуды и частоты колебаний, которые передаются с одной стороны на корпус, с другой, на эксцентрик через соединительные звенья, при этом они частично гасятся за счет демпфирования, что в конечном итоге снижает надежность работы и ограничивает технологические возможности зерноочистительной машины и в целом агрегата.

Снизить влияние инерционных сил, действующих на корпус и привод зерноочистительной машины, можно за счет применения вместо жесткого соединения элементов привода с решетным станом горизонтально расположенной пружины и толкателя, которые обеспечат силовое взаимодействие между корпусом и эксцентриком (Приложение Д, приложение Е, рисунок 2.9). В процессе работы зерноочистительной машины при движении влево возникает момент силы от массы решетного стана и от силы сжатия пружины, которые преодолеваются за счет эксцентрикового механизма, происходит активное силовое взаимодействие между толкателем, которое используется на отклонение решетного стана и сжатие пружины. При движении вправо происходит пассивное взаимодействие, а именно момент от массы решетного стана и разжатие пружины осуществляют давление на толкатель, что снижает затраты энергии эксцентрикового механизма на вибрацию корпуса и нагрузку во всех звеньях эксцентрикового механизма [119, 120].

Для снижения нагрузки на привод и раму зерноочистительной машины, а также для повышения надежности ее работы необходимы теоретические исследования по определению оптимальной жесткости пружины.

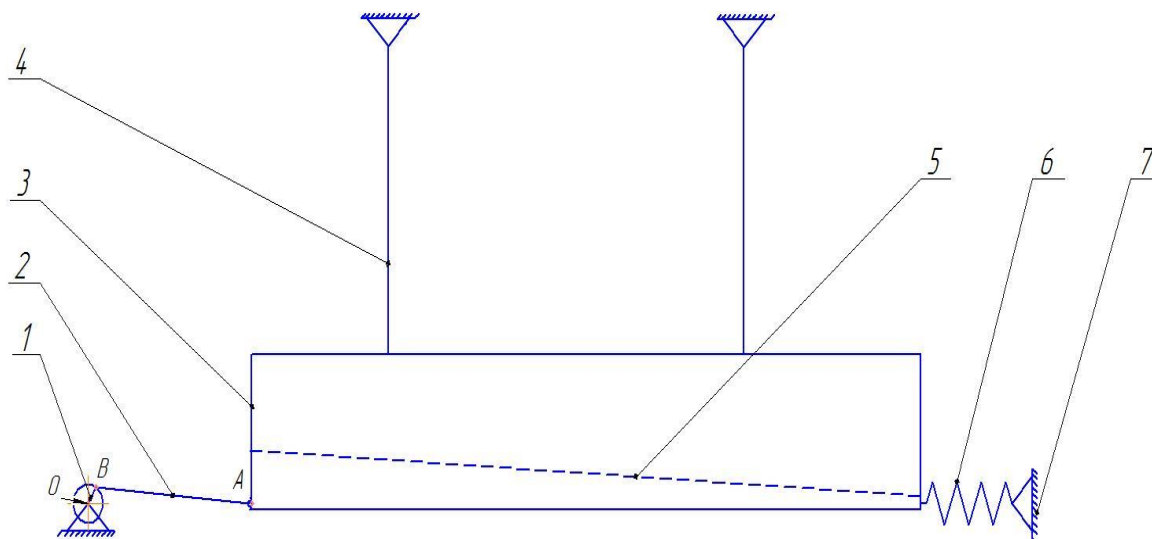


Рисунок 2.9 – Схема решетного стана зерноочистительной машины:

- 1 – эксцентрик, 2 – толкатель, 3 – решетный стан, 4 – подвеска, 5 – решето,  
6 – пружина, 7 – рама машины

Ускорение решетного стана определяется по формуле (2.4) и имеет вид:

$$a = -\omega^2 x = -\omega^2 r \cos \varphi.$$

С учетом силы инерции суммарная сила, действующая на точку А решетного стана имеет вид:

$$F = F_{\text{упр}} - F_{\text{и}} = m\omega^2 x - cx = (m\omega^2 - c)x,$$

Где  $m$  – масса решетного стана,  $c$  – жесткость пружины.

Разложим силу  $F$  на две составляющие:  $F_1 = F \operatorname{tg} \alpha$  и  $F_2 = \frac{F}{\cos \alpha}$  (см. рисунок

2.10). Перенесем силу  $F_2$  вдоль своей линии действия в точку В и обозначим ее через  $F_2'$ .

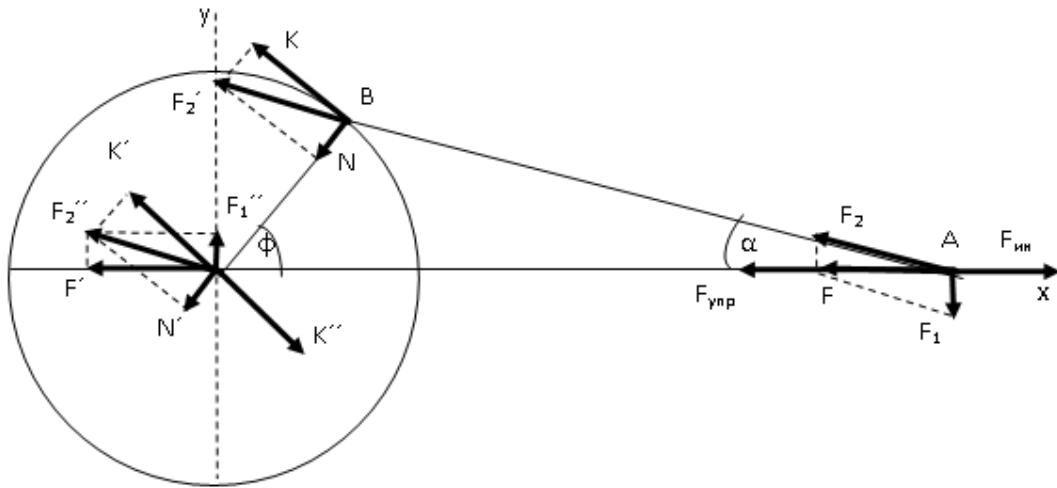


Рисунок 2.10 – Схема сил, действующих на эксцентрик и решетный стан

Раскладывая эту силу на направления касательной и нормали к окружности, получаем силы  $N = \frac{F \cos(\varphi + \alpha)}{\cos \alpha}$  и  $K = \frac{F \sin(\varphi + \alpha)}{\cos \alpha}$ . Перенесем силу  $N$  вдоль своей линии действия в точку  $O$  и обозначим ее через  $N'$ . Приложим в точке  $O$  силы  $K'$  и  $K''$ , как это показано на рис. 2.3. Пара сил  $\{K, K''\}$  образует крутящий момент эксцентрика, а суммирование сил  $K'$  и  $N'$  дает силу  $F_2''$ , разложение которой на горизонтальную и вертикальную составляющие дает силы  $F'$  и  $F_1'$ . Силы  $F'$  и  $F_1'$ , представляют пару сил, образующих опрокидывающий момент, а сила  $F'$ , равная по модулю силе  $F$ , определяет динамическую нагрузку на ось эксцентрика.

Для снижения этих нагрузок необходимо минимизировать величину

функции  $F = (m\omega^2 - c)x$ , то есть жесткость пружины следует выбирать из соотношения:  $c = m\omega^2$ .

## ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, позволяющая определить конструктивные и режимные параметры, описывающие движение очистителя по циклам при использовании дополнительных направляющих на отражательной поверхности.

2. Обоснованы аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана зерноочистительной машины, которые позволяют принимать жесткость пружины в разработанном механизме привода из соотношения:  $c = m \cdot \omega^2$ .

### **3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **3.1. Программа экспериментальных исследований**

В соответствии с поставленными задачами данной диссертационной работы и теоретическими предпосылками была намечена программа экспериментальных исследований, которая включает:

1. определение гранулометрического состава бункерного вороха пшеницы;
2. определение влажности пшеницы;
3. исследование влияния очистителя плоских решет на показатели их работы (забиваемость, просеиваемость и др.).
4. исследование влияния угла наклона подвесок решетного стана на фракционирование зернового вороха озимой пшеницы;
5. исследование влияния привода решетного стана на показатели работы очистки.

Экспериментальные исследование по влиянию конструктивных и режимных параметров работы решетного стана зерноочистительной машины на показатели разделения зерновой смеси проводили в лабораторных условиях на усовершенствованной экспериментальной установке.

#### **3.2 Описание конструкции и работы экспериментальной установки**

Исследование по влиянию конструктивных и режимных параметров работы решетного стана зерноочистительной машины на показатели разделения зерновой смеси проводили в лабораторных условиях на усовершенствованной экспериментальной установке, которая моделирует работу промышленной зерноочистительной машины фракционной очистки типа ОЗФ- 80.

Схема описанной выше экспериментальной установки представлена на рисунке 3.1.



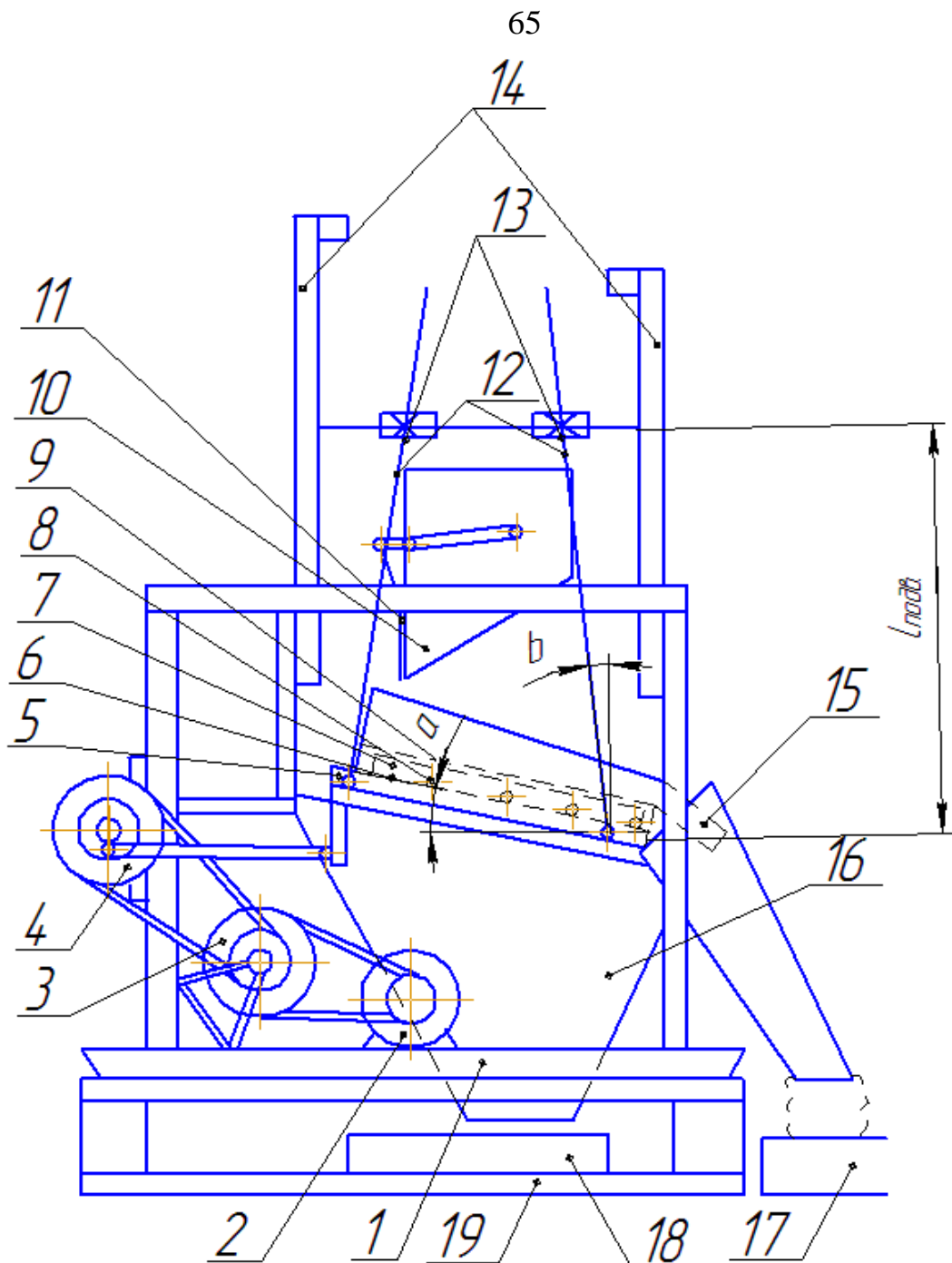


Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки: 1 – рама;

2 – электродвигатель; 3 – вариатор; 4 – кривошипно-шатунный механизм;  
 5 – решетный стан; 6 – отражательная поверхность; 7 - подвижная клетчатая  
 рамка; 8 – очистительный элемент; 9 – решет; 10 – бункер; 11 – дозирующая  
 заслонка; 12 – плоские пружины подвесок; 13 – регулировочные кронштейны;  
 14 – направляющие; 15,16 – скатные поверхности; 17 – бункер для схода;  
 18 – бункер для прохода; 19 – подставка;  $\alpha$  – угол наклона решета;  $b$  – угол  
 наклона подвесок решетного стана;  $l_{\text{подв.}}$  – длина подвесок решетного стана

Лабораторная установка состоит из сварной рамы 1, на которой установлен решетный стан 5, снабженный шариковыми очистителями 8 и штампованной отражательной поверхностью 6. Под решетным станом установлена скатная поверхность 16 с приемным бункером 18 для сбора проходовой фракции. Из бункера 10, который крепиться к раме осуществляется подача зерновой смеси на решетный стан. Изменение подачи из бункера происходит за счет регулируемой заслонки 11. Привод экспериментальной установки осуществляется от электродвигателя 2 с помощью клиноременного вариатора 3 и шатунно-кривошипного механизма 4.

В данной установке есть возможность замены решет для сепарации разных видов с/х культур, решето имеет длину равной  $L_p = 0,79$  м; ширина рабочей части составляет  $B_p = 0,2$  м. В зависимости от задачи исследования можно регулировать следующие параметры:

- величину удельной подачи зернового вороха на решето  $q_F = 1,0 \dots 25,0$  т/ч-м<sup>2</sup>;
- частоту вращения приводного вала  $n = 180 \dots 950$  мин<sup>-1</sup>;
- амплитуду колебаний решетного стана в пределах  $r = 5,0 \dots 50,0$  мм;
- угол наклона решета к горизонту  $\alpha = 2 \dots 12^\circ$ ;
- угол наклона подвесок решета к вертикали  $b = 0 \dots 25^\circ$ ;
- длину подвесок решетного стана  $l_n = 100 \dots 1200$  мм [151].

Для очистки плоских решет от застрявших в отверстиях элементов зернового вороха на экспериментальной установке применяли шариковый очиститель и разработанный на кафедре СХМ Воронежского ГАУ очиститель пружинного вида, состоящие из отражательной поверхности 6, подвижной рамы 7. Система очистки имеет следующие характеристики: высота между решетом и отражательной поверхностью составила 35мм, ячейки длиной 165мм снабдили равным количеством очистительных элементов.

Работа представленной лабораторно-экспериментальной установки осуществляется следующим образом: исходный зерновой ворох засыпается в бункер 10, оттуда самотеком проходит через заслонку 11 и поступает на поверхность решета 9 решетного стана 5, колеблющегося в горизонтальной

плоскости. Очистительные элементы 8, расположенные в подрешетном пространстве, в процессе колебательного движения соударяются с обратной поверхностью решета и выбивают из отверстий застрявшие элементы зернового вороха, тем самым производя его очистку. Часть зерносмеси, которая просеялась сквозь решето 9, направляется по скатной поверхности в бункер для проходовой фракции 18. В бункер для схода 17 поступает другая часть зерносмеси, идущая сходом [113, 151].

Процентное содержание каждой отдельной фракции после прохождения зернового вороха по решету, работающему на заданных режимах, определяется по формуле:

$$\alpha_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где  $\alpha_i$  - процентное содержание  $i$ -й фракции, %;

$m_i$  - масса  $i$ -й фракции, кг;

$m$  - масса поданного на решето материала, кг.

### **3.3 Методика определение гранулометрического состава исходного вороха**

Гранулометрический состав в наших исследованиях разделяется на 2 фракции на проходovou и сходовую для конкретного размера отверстий решета. Данное разделение позволяет более наглядно показать степень влияния усовершенствований экспериментальной установки (тип очистителя плоских решет, угол наклона подвесок, обеспечивающих продольное и поперечное колебание решетного стана, привод решетного стана) на эффективность ее работы. Зерновой ворох разделяли с помощью лабораторно решетного классификатора УИ–ЕРЛ-2-1 оснащенного набором решет с продолговатыми отверстиями, размер которых менялся в пределах от 2,4 до 3,4 мм. Выделенные при сепарации на решетках фракции зернового материала взвешивали на электронных весах JW-1 с точностью до 0,01 г и записывали в таблицу [113, 151].

Процентное содержание отдельной фракции определяли по формуле

$$C_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (3.2)$$

где  $C_i$  – процентное содержание  $i$ -й фракции, %;

$m_i$  – масса  $i$ -й фракции, кг;

$m$  – масса общей навески, кг;

### 3.4 Методика проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводили на основе известных методов планирования эксперимента и обработки опытных данных, разработанных С.В. Мельниковым, В.Р. Алешкиным, Л.З.Румшинским, Х. Шенком и другими авторами, а также с учетом требований ГОСТов [63, 102, 131, 155].

### 3.5 Методика определения влажности вороха

Для определения влажности исходного вороха использовали влагомер Wile – 65, представленный на рисунке 3.2. При этом образцы зерна озимой пшеницы отбирали в соответствии с ГОСТ 12036-85 [63]. Опыты проводили в трехкратной повторности и затем находили среднюю влажность.



Рисунок 3.2 – Влагомер «WILE-65»

### 3.6 Методика определения стекловидности и содержания клейковины.

Для определения общей стекловидности и содержания клейковины применяли диафаноскоп фотоэлектрический (рисунок 3.3), принцип действия данного прибора основан на измерении светопропускания зерновой массы. Электронная схема устройства преобразует полученный при этом фотоэлектрический сигнал в цифровые значения стекловидности и массовой доли клейковины в целом зерне [151].



Рисунок 3.3 – Диафаноскоп фотоэлектрический

В соответствии с ГОСТ 12036–85 для анализа отбирали нормально развитые зерна, исключив сорную, мертвую и зерновую примеси, а также щуплое и дробленое зерно [63]. Далее проводили замеры параметров в трехкратной повторности для каждой зерновой пробы пшеницы. Результаты записывали в журнал по приведенной в руководстве по эксплуатации прибора форме, находили среднее значение полученных величин.

### 3.7 Исследование влияние очистителя плоских решет на показатели их работы

Исследование влияния очистителя плоских решет на показатели их работы

проводили в лаборатории кафедры «Сельскохозяйственные машины» Воронежского ГАУ при обработке озимой пшеницы «Московская 39», при влажности зерна 14%. Дробление зерна, стекловидность и клейковина составили 6,0, 59,0, 26,0% соответственно.

Для исследований использовали экспериментальную установку, представленную на рисунке 3.1. Опыты проводили в трех повторностях, при производительности 11,91 т/ч.

Подачу исходного вороха на решетную поверхность 9 экспериментальной установки определяли следующим образом. Перед опытами произвели тарировку величины открытия дозирующей заслонки 11 в бункере 10. В бункер 10 засыпали определенное количество, предварительно взвешенного, обрабатываемого материала, далее открывали дозирующую заслонку на необходимую величину. С помощью секундомера засекали время, за которое бункер 10 опустеет. Пропускную способность определяли, деля известную массу материала на время проведения опыта при данной величине открытия дозирующей заслонки 11. В дальнейшем подачу принимали в расчете на действительную ширину решетного стана, равную 1,5 м.

Для проведения опыта исходный ворох засыпали в бункер 10 лабораторной установки (рисунок 3.1). С помощью регулировочного винта (предварительно тарированного) устанавливали необходимую производительность и открывали заслонку. Массу поданного на решето материала брали равной 5 кг [151].

Вычисление коэффициента эффективности живого сечения решета ( $K$ ) и подсчет количества забившихся отверстий решет после прекращения работы экспериментальной установки позволяет определить забиваемость решет.

Коэффициент использования живого сечения решета с продолговатыми отверстиями определяется по формуле:

$$K = \frac{L_{я} - L_3}{L_{я}}, \quad (3.3)$$

где  $L_{я}$  - общая длина ячеек исследуемой поверхности решета, мм;

$L_3$  - общая длина забившихся зёрен в ячейках исследуемой поверхности

решета, мм.

А для решет с круглыми отверстиями формула определения коэффициента использования живого сечения решета несколько видоизменяется:

$$K = \frac{n_{отв} - n_3}{n_{отв}}, \quad (3.4)$$

где  $n_{отв}$  - общее число отверстий исследуемой поверхности решета;

$n_3$  - общее число забившихся отверстий исследуемой поверхности решета.

Исследовали два вида очистителя плоских решет: шарикового и в виде пружины. Характеристика работы экспериментальной установки, (рисунок 3.1) используемая при проведении опытов представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Техническая характеристика экспериментальной установки

Показатели	Тип очистителя	
	Шарик	В виде Пружины
Амплитуда колебаний решета, мм	16 и 28	
Частота колебаний, мин <sup>-1</sup>	450	
Угол наклона решета, град	6	
Длина вертикальных подвесок, м	0,3	
Производительность, т/ч	1,7	
Размер решет: длина, м	0,79	
Ширина, м	0,2	
Размер отверстий, мм	Ширина продолговатых отверстий: 2,2x20; 2,4x20; 2,6x20; 3,0x20; 3,4x20; 3,6x20. Диаметр отверстий: 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 5,0; 6,0	
Диаметр очистителя, мм (для пружины- длина, диаметр сердцевины, толщина оплетки)	26	22 (180, 3, 1)
Количество в ячейке, всего, шт.	2 28	1 14

Очиститель в виде пружины представленный на рисунке 3.4 содержит

металлическую сердцевину, покрытую полимерной оболочкой, с наружным диаметром больше расстояния между выступом отражательной поверхности и решетным станом и длиной равной ширине ячейки и шагом навивки более диаметра или ширины отверстий решет (приложение А). Он работает следующим образом: в процессе возвратно-поступательного движения решетного стана и отражательной поверхности очиститель соударяются с выступами по всей длине ячейки, отскакивают от их наклонной боковой поверхности и контактируют с решетом, при этом возможное одновременное разовое число контактов равно количеству витков пружины.

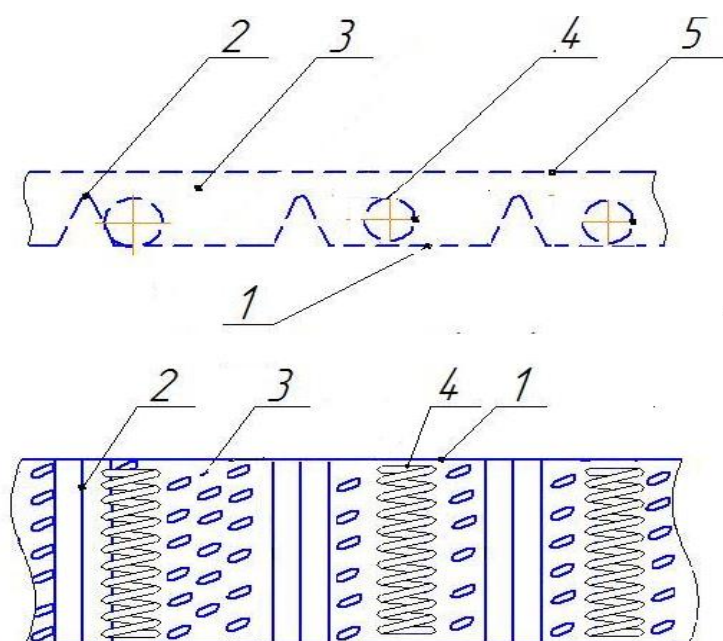


Рисунок 3.4 – Схема перфорированной отражательной поверхности с очистителем плоских решет в виде пружины: 1 – отражательная поверхность, 2 – выступ, 3 – ячейка, 4 – очиститель в виде пружины, 5 – решето

### **3.8 Методика определения влияния угла наклона подвесок решетного стана на фракционирование зернового вороха озимой пшеницы**

Исследование влияния угла наклона подвесок решетного стана на фракционирование зернового вороха озимой пшеницы проводили в лаборатории кафедры «Сельскохозяйственные машины» Воронежского ГАУ при обработке



озимой пшеницы «Московская 39», при влажности зерна 14 %. Дробление зерна, стекловидность и клейковина составили 6,0, 59,0, 26,0 % соответственно.

Для исследований использовали экспериментальную установку, представленную на рисунке 3.1. Опыты проводили в трех повторностях, при производительности 17,05 и 22,50 т/ч.

Определение количества подачи исходного вороха на решетную поверхность 9 экспериментальной установки указано в предыдущем пункте.

Для проведения опытов воспользовались матрицей планирования многофакторного эксперимента по плану Бокса-Бенкина [104]. Условия, матрица планирования и результаты опытов приведены в таблице 3.2.

При исследовании изменяли следующие параметры:

$X_1$  – подачу зернового вороха на решето, т/ч;

$X_2$  – амплитуду колебаний решетного стана, мм;

$X_3$  – частоту колебаний, мин<sup>-1</sup>;

$X_4$  – угол наклона решета к горизонту, град.;

$X_5$  – угол наклона подвесок решетного стана относительно вертикали, град.;

$X_6$  – длину подвесок решетного стана, м;

$X_7$  – размер отверстий решета, мм.

При проведении опытов определяли массу зерна сошедшего с решета  $Y_1$ , массу зерна, прошедшего через решето  $Y_2$ , и коэффициент сепарации  $\mu$ .

Значения коэффициента сепарации  $\mu$  можно определить при известном количестве зерновой смеси, поданной на решето  $Q$  и сошедшей с решета  $\Delta Q$ , по формуле:

$$\mu = \frac{\ln Q - \ln \Delta Q}{l}. \quad (3.5)$$

В представленной серии опытов рассмотрено влияние изменения угла наклона подвесок попарно в одну сторону относительно вертикальной оси.

Для определения влияния угла наклона подвесок при их расположении с противоположным углом наклона относительно вертикали по обеим сторонам решетного стана проводили серию опытов, на той же лабораторной установке при

подаче 11,9 т/ч.

Таблица 3.2 – Матрица планирования 1/8 реплики многофакторного эксперимента по плану  $2^7$  и результаты опытов при изучении сепарации зерна

Показатели	X <sub>1</sub> , т/ ч	X <sub>2</sub> , м м	X <sub>3</sub> , ми н <sup>-1</sup>	X <sub>4</sub> , гра д.	X <sub>5</sub> , гра д.	X <sub>6</sub> , м	X <sub>7</sub> , м м	Масса зерна, г		Коэффици- ент, м <sup>-1</sup>
								У <sub>1</sub>	У <sub>2</sub>	
Основной уровень	20	22	350	6	10	0,5	2,8	У <sub>1</sub>	У <sub>2</sub>	μ,
Интервал варьирован- ия	5	6	50	2	10	0,2	0,2			
Верхний уровень(+)	25	28	400	8	20	0,7	3,0			
Нижний уровень(-)	15	16	300	4	0	0,3	2,6			
Опыты:										
1	+	+	-	-	+	+	+			
2	+	-	-	-	-	+	-			
3	-	+	-	-	-	-	+			
4	-	-	-	-	+	-	-			
5	+	+	+	-	-	-	-			
6	+	-	+	-	+	-	+			
7	-	+	+	-	+	+	-			
8	-	-	+	-	-	+	+			
9	+	+	-	+	-	-	-			
10	+	-	-	+	+	-	+			
11	-	+	-	+	+	+	-			
12	-	-	-	+	-	+	+			
13	+	+	+	+	+	+	+			
14	+	-	+	+	-	+	-			
15	-	+	+	+	-	-	+			
16	-	-	+	+	+	-	-			

С разнонаправленным расположением подвесок работа машины происходит следующим образом: при движении решетчатого стана вправо, левая сторона будет опускаться, а правая подниматься. При движении влево наоборот. При этом наряду с продольными и вертикальными колебаниями будут возникать поперечные колебания решетчатого стана и естественно комплекса решет и слоя зернового материала находящегося на них (приложение Ж) [116]. Принципиальная схема расположения подвесок с противоположным углом наклона по обеим сторонам решетчатого стана относительно вертикальной оси представлена на рисунке 3.5.

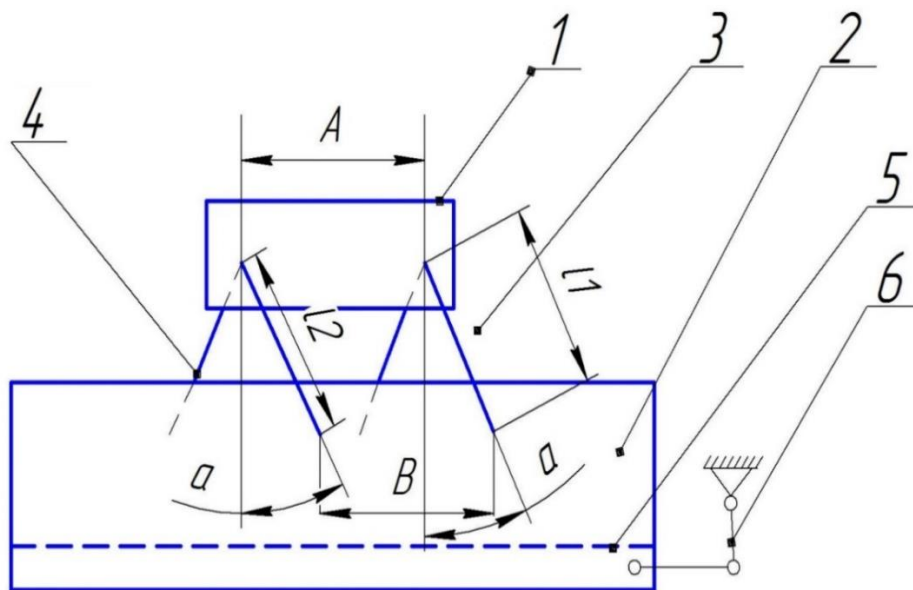


Рисунок 3.5 – Схема решетчатого стана: 1 – корпус, 2 – решетчатый стан, 3 – передняя плоская пружина, 4 – задняя плоская пружина, 5 – решетето, 6 – привод, α – угол наклона подвесок, A, B – расстояния между верхними и нижними концами подвесок соответственно

Угол наклона подвесок меняли от  $0^\circ$  до  $15^\circ$ , длину брали равной 0,3 м. Для очистки плоских решет использовали шариковые очистители.

Определяли массу зерна сошедшего  $Y_1$  с решета и прошедшего  $Y_2$  через него и коэффициент сепарации  $\mu$ , который определяли по формуле 3.5.

### 3.9 Методика определения влияния привода решетчатого стана на показатели работы очистки

Исследование влияния привода решетного стана на показатели работы очистки проводили в лаборатории кафедры «Сельскохозяйственные машины» Воронежского ГАУ при обработке озимой пшеницы «Московская 39».

Для исследований использовали экспериментальную установку, представленную на рисунке 3.1. Опыты проводили в трех повторностях, при производительности 11,9 т/ч.

При исследовании использовали два вида привода решетного стана: стандартный – в котором привод колебания решетного стана осуществляется за счет эксцентрикового механизма, жестко связанного ведомыми звеньями исполнительного механизма с ситовым кузовом, и разработанный на кафедре СХМ Воронежского ГАУ эксцентриковый привод [119], который снабжен толкателем, обеспечивающим силовое взаимодействие между корпусом и эксцентриком, с возможностью изменения эксцентриситета и частоты колебания, при этом корпус в плоскости толкателя подпружинен (рисунок 3.6.).

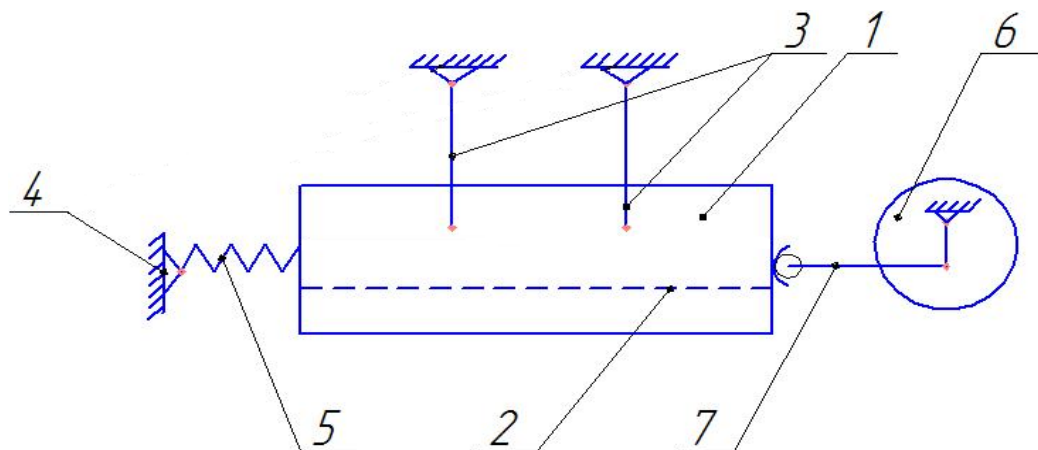


Рисунок 3.6 – Решетный стан: 1 – решетный стан, 2 – решето, 3 – передняя и задняя плоские пружины, 4 – рама машины, 5 – пружина, 6 – эксцентрик, 7 – толкатель

Решетный стан, снабженный вторым видом привода, работает следующим образом: вращательное движение эксцентрика 6 преобразуется в возвратно-поступательное перемещение толкателя 7, при этом возникает контактно-силовое взаимодействие между ним и корпусом решетного стана 1. При движении толкателя 7 влево, подвески 3 и решетный стан 1 также отклоняются в эту

сторону. При этом инерционные силы преодолевают жесткость пружины 5 и она сжимается. Силовое взаимодействие между толкателем 7 и решетным станом 1 уменьшается и при определенной жесткости пружины 5 может снижаться до 0. При движении толкателя 7 вправо решетный стан 1 под действием сжатой пружины 5 также перемещается вправо, при этом инерционные силы способствуют обратному движению эксцентрика 6 и далее происходит повторение процесса.

Для проведения опыта исходный ворох засыпали в бункер 10 лабораторной установки (рис. 3.1). С помощью регулировочного винта (предварительно тарированного) устанавливали необходимую производительность и открывали заслонку. Массу поданного на решето материала брали равной 5 кг. Смену механизмов привода осуществляли согласно выбранному плану планирования эксперимента. Использовали сортировальное решето с шириной отверстий – 2,6 мм.

Зерновой ворох разделяли на проходовую и сходовую фракции. Частота колебаний решетного стана составляла 350, 400, 450 мин<sup>-1</sup> и амплитуда – 16, 22, 28 мм.

### **3.10 Математическая обработка результатов экспериментальных исследований**

Для обработки результатов экспериментальных исследований воспользовались стандартными методами математической статистики [23, 103, 104, 133, 157]. Необходимое количество повторений опыта определяли с учетом выбранной надежности опыта, равной 0,95, ошибка при которой приближенно равна  $\pm 3\sigma$ . Измерения, имеющие значения ошибки выше предельного, исключали, считая промахами.

В процессе проведения экспериментальных исследований, каждый измерительный прибор проверялся в начале и конце испытаний по их рабочим характеристикам, измерительную аппаратуру настраивали одни и те же лица, в течение всей работы использовали одну и ту же аппаратуру.

Оценку каждой величины при массовых замерах осуществляли по среднему арифметическому, а ошибку опыта определяли средним квадратичным отклонением.

Оценку сходимости расчетных и экспериментальных данных производили по величине максимального и среднего относительного отклонений экспериментальных значений от расчетных по формулам:

$$\delta_{cp} = \frac{1}{n_m} \sum \frac{|y_{расч_i} - y_i|}{y_{расч_i}} \quad \text{и} \quad \delta_{max} = \left( \frac{|y_{расч_i} - y_i|}{y_{расч_i}} \right)_{max}, \quad (3.6)$$

где  $n_m$  – количество точек сравнения;

$y_{расч}$  и  $y_i$  – расчетное и экспериментальное значение параметра.

Для обработки результатов эксперимента применяли ЭВМ с использованием пакетов программ Math CAD 2007, Statistica 7, Maple 14 и др.

## 4 Результаты экспериментальных исследований

### 4.1 Состав бункерного вороха семян пшеницы

Для проведения исследований на усовершенствованной лабораторной установке в качестве исходного материала был взят ворох семян пшеницы из бункера зерноуборочного комбайна «Дон 1500Б» полученный во время уборки семян озимой пшеницы сорта «Московская 39». Все исследования проводили по методикам описанным в предыдущем разделе.

Результаты по определению состава бункерного вороха пшеницы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты определения состава бункерного вороха пшеницы

№ опыта	Целое зерно, %	Дробленое зерно, %	Зерно в пленке, %	Засорители, %		Стекло-видность, %	Содержание клейковины, %
				Крупные	Мелкие		
1	82,10	6,52	0,95	7,64	3,74	62,74	26,50
2	82,38	5,92	0,96	7,85	3,85	63,05	27,30
3	81,40	5,89	0,94	8,61	4,10	62,27	24,10
4	81,76	6,03	0,94	8,29	3,92	62,33	25,10
5	83,90	5,60	0,98	7,38	3,12	63,38	29,50
Среднее	82,31	5,99	0,95	7,95	3,75	62,75	26,50

Таким образом, в исходном ворохе содержание семян пшеницы – 82,31 %, дробленого зерна 5,99 %, зерна в пленке 0,95 %, засорителей 11,7 % в том числе 7,95 % крупных и 3,75 % мелких. Стекловидность и содержание клейковины составило 62,75 % и 26,50 % соответственно.

Влажность исследуемого вороха не превышала 14 %.

### 4.2 Влияние конструкции отражательной поверхности на качество очистки решет

Производительность зерноочистительных машин зависит от состава, обрабатываемого вороха, его физико-механических свойств, конструктивных и

режимных параметров работы машин. Один из основных показателей, обеспечивающих эффективность работы зерноочистительной машины, является качество очистки решет [113].

На современных воздушно-решетных зерноочистительных машинах для очистки плоских решет используют шариковые очистители. В сравнении со щеточными, данные очистители имеют следующие преимущества: простота конструкции, отсутствие приводного механизма, небольшие габаритные размеры решетного стана, надежность и долговечность работы, технологичность изготовления, простота эксплуатации, относительно низкая цена. Они включают плоское решето с расположенной под ним, отражающей поверхностью (ОП), разделенной на ячейки, в которых размещены шарики.

Установлено [75], что подрешетное пространство  $h=1,3 \cdot D$  ( $D$  – диаметр шарика, мм). Оценить работоспособность решет можно коэффициентом использования живого сечения, который снижается в процессе работы из-за забиваемости решет [113]. Для проведения исследований нами были изготовлены четыре рифленых перфорированных поверхности с круглыми (рисунок 4.1) и продолговатыми (рисунок 4.2, 4.3 и 4.4) отверстиями. Они были изготовлены из оцинкованного листа 0,8...1,2 мм.

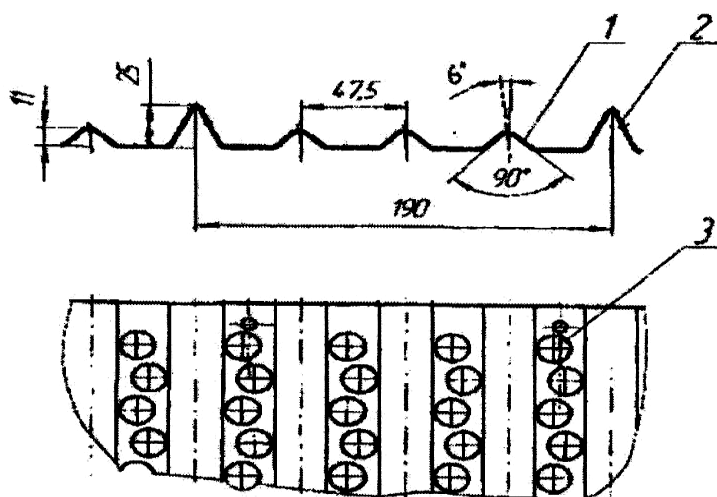


Рисунок 4.1 – Схема отражательно поверхности с круглыми отверстиями:

1 – низкий риф; 2 – высокий риф; 3 – отверстие

На рисунке 4.1 представлена схема отражательной поверхности с круглыми отверстиями. На отражательной поверхности имеются низкие рифы высотой 11



мм, которые побуждают шарики двигаться. Они располагаются с шагом 47,5 мм перпендикулярно направлению колебания решета [113]. Боковые поверхности рифов образуют между собой угол  $90^\circ$  и расположены так, что биссектриса этого угла имеет наклон по отношению к плоскости отражательной поверхности на  $6^\circ$ . Большие рифы высотой 25 мм располагаются с шагом 190 мм. Они делят на ячейки подрешетное пространство и предотвращают переход шариков из одной ячейки в другую. Между рифами выполнены отверстия диаметром 15...18 мм, которые используются для беспрепятственного прохождения зерновой фракции, просыпавшейся через решето.

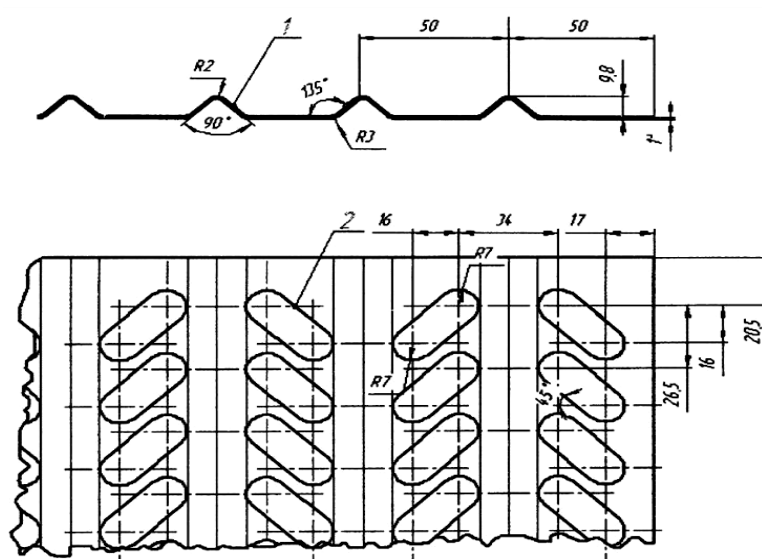


Рисунок 4.2 – Схема отражательной поверхности с продолговатыми отверстиями: 1 – риф; 2 – отверстие

Рифы, расположенные на отражательной поверхности (рисунок 4.2), имеют высоту 9,8 мм и используются для побуждения шариков к движению. Они расположены с шагом 50 мм перпендикулярно направлению колебаний решета. Боковые поверхности рифов образуют между собой угол  $90^\circ$  и расположены так, что боковые поверхности рифов наклонены по отношению к плоскости отражательной поверхности на  $135^\circ$ . Во впадинах между рифами выполнены продолговатые отверстия с радиусом закругленной части 7 мм, предназначенные для прохождения части вороха, просыпавшейся через решето [113].

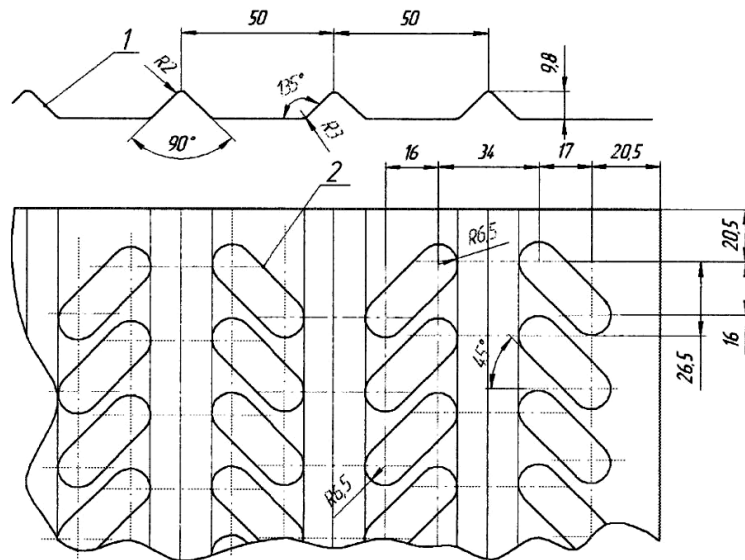


Рисунок 4.3 – Схема отражательной поверхности с продолговатыми отверстиями уменьшенного размера: 1 – риф; 2 – отверстие

Третья отражательная поверхность (рисунок 4.3) отличается тем, что продолговатые отверстия выполнены во впадинах между рифами имеют радиус закругленной части 6,5 мм. Четвертая отражательная поверхность (рисунок 4.4) отличается от выше указанных тем, что она имеет радиус закругленной части 5,5 мм, а на рифах дополнительно в хаотичном порядке нанесено оребрение высотой и шириной 1 мм.

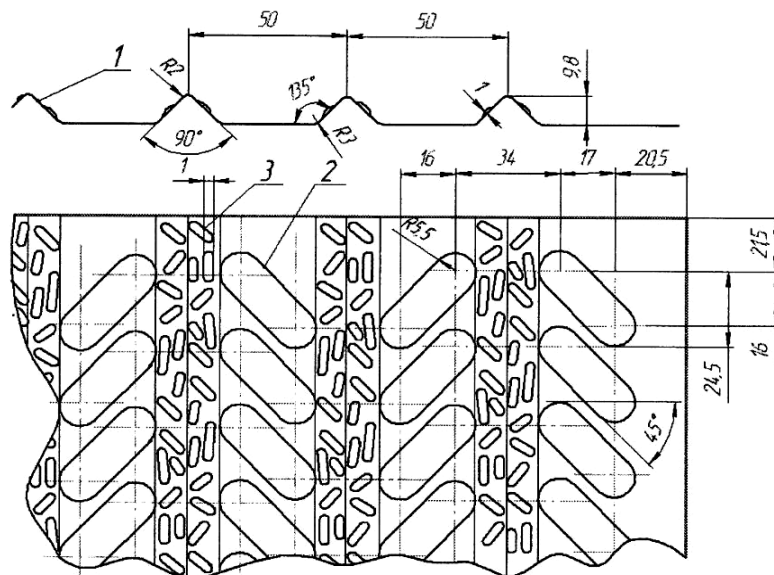


Рисунок 4.4 – Схема отражательной поверхности с продолговатыми отверстиями с дополнительным ребрением рифов: 1 – риф; 2 – отверстие; 3 – ребро

Отражательную поверхность, оснащенную шариками, располагают под решетом, на расстоянии 40 мм. Исследования проводили при очистке зернового вороха озимой пшеницы Московская 39 на экспериментальной установке с частотой колебаний решетного стана 350, 375 и 400 мин<sup>-1</sup>, амплитудой колебаний 15 мм, производительностью 20, 40 и 60 т/ч (в расчете на ширину решетного стана 1500 мм), размером ячейки 130, 160 и 190 мм, числом шариков в ячейке 3, 5 и 7 шт. Зерно разделили на решетках с продолговатыми отверстиями шириной 2,4, 2,6 и 2,8 мм. В качестве очистительных элементов использовали резиновые шарики диаметром 28 мм. Влажность зерна определенная с помощью влагомера Wile – 65 составила 14%. Качество очистки решет оценивали коэффициентом использования живого сечения решета [50, 90, 107, 108, 113, 151].

$$K = L - \frac{l \cdot n}{L}, \quad (4.1)$$

где  $L$  – суммарная длина отверстий решета, мм;

$l$  – средняя длина зерновки, мм;

$n$  – число застрявших зерновок, шт.

Зависимость коэффициента использования живого сечения решета  $K$  от типа отражательной поверхности была определена на решетке с прямоугольными отверстиями в 2,8 мм, частоте вращения вала привода 400 мин<sup>-1</sup>, производительности 60 т/ч, размере ячейки 190 мм.

Результаты исследований представлены в таблице 4.2.

Анализ результатов исследований показывает, что при одинаковых режимах работы решетного стана и одинаковом числе шариков лучшее качество очистки решет получено при постановке перфорированной рифленной поверхности с круглыми отверстиями диаметром 17 мм и продолговатыми имеющим радиус закругления 6,5 мм, несколько хуже показатели получены при использовании двух других поверхностей [90].

Таблица 4.2 – Влияние типа отражательной поверхности и числа шариков на коэффициент К использования живого сечения решета

Тип отражательной поверхности	Число шариков в ячейке	К
Перфорированная рифленая поверхность с диаметром отверстий 17 мм	7	0,92
	5	0,90
	3	0,83
Перфорированная рифленая поверхность с продолговатыми отверстиями и радиусом закругленной части 7мм	7	0,88
	5	0,80
	3	0,76
Перфорированная рифленая поверхность с продолговатыми отверстиями и радиусом закругления 6,5 мм	7	0,92
	5	0,88
	3	0,80
Перфорирована рифленая поверхность с продолговатыми отверстиями и радиусом закругления 5,5 мм	7	0,88
	5	0,86
	3	0,83

На коэффициент использования живого сечения сортировального решета влияет и размер ячейки. Исследованиями установлено, что при размере ячейки 160 мм, значение коэффициента использования живого сечения решета для всех используемых отражательных поверхностей находится в пределах 0,92...0,94. Это говорит о том, что хорошая очистка решета обеспечивается определенным числом ударяющих элементов на единицу площади [89].

#### **4.3 Влияние конструктивных и режимных параметров решетного стана на эффективность работы решет**

В ближайшей перспективе основным средством для послеуборочной обработки зерна остаются воздушно-решетные машин. Процесс эффективной очистки решет различными очистителями предопределяет наличие определенных конструктивно-кинематических параметров работы, основными из которых являются частота и амплитуда колебаний решетного стана. Увеличение производительности зерноочистительной машины возможно за счет улучшения качества очистки решет [149].

На кафедре СХМ воронежского ГАУ разработана конструкция решетчатого стана с использованием очистителя в виде пружины [118] вместо шариковой очистки (Рисунок 4.5).

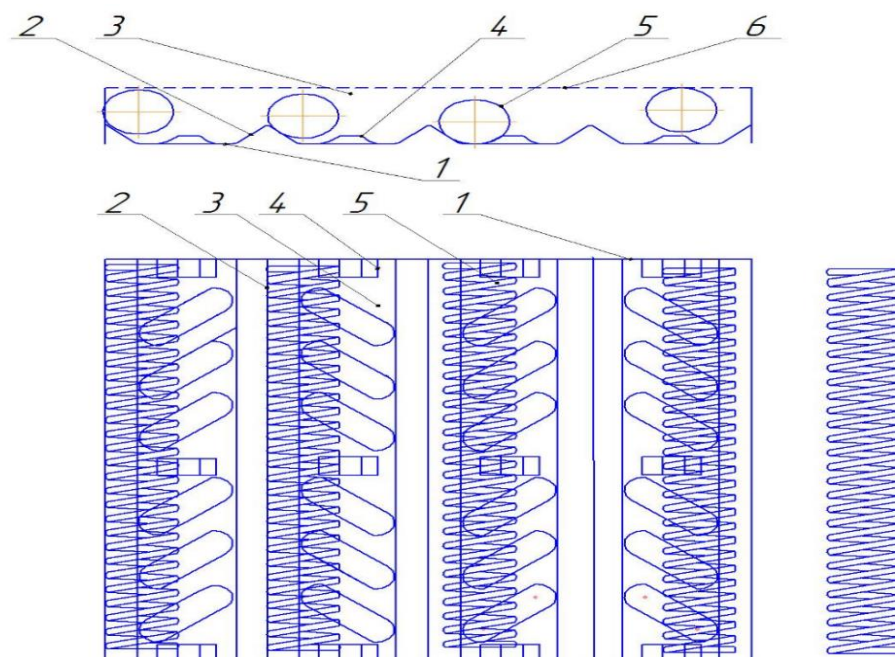


Рисунок 4.5 – Схема перфорированной отражательной поверхности с очистителем плоских решет в виде пружины: 1 – отражательная поверхность; 2 – выступ; 3 – ячейка; 4 – направляющие; 5 – очиститель; 6 – решето

Очиститель пружинного вида содержит перфорированную отражательную поверхность 1 разделенную выступами 2 на ячейки 3 прямоугольной формы, где размещены отражательные элементы 5, а сверху над отражательной поверхностью расположено решето 6 [118].

Очистка решета от застрявших в его отверстиях зерновок или других компонентов зернового вороха осуществляется в процессе возвратно-поступательного движения решетчатого стана и отражательной поверхности. При этом очиститель на всю длину ячейки 3 всеми витками соударяются с выступами 2 отскакивает от их наклонной боковой поверхности и контактируют с решето 6 всеми витками очистителя 4 под углом к отверстиям решета, при этом происходит скольжение пружин в ячейке 3 по её поверхности до соударения с выступами 2. Возможное одновременное разовое число контактов равно числу витков очистителя [118].

Предлагаемый очиститель может работать не только с плоскими решетками, имеющими продольные отверстия, но и с решетками, конструкция полотен

которых предусматривает наличие секций, состоящих из 2-3х рядов продолговатых отверстий и расположенных таким образом, что продолговатые отверстия соседних секций отклонены в противоположные стороны от продольной стороны решета на угол меньше динамического угла трения движущейся зерносмеси по поверхности решета (Приложение 3) [117]. При таком расположении отверстий будет обеспечено увеличение эффективности процесса разделения зерновой смеси на фракции и выделение примесей, а очиститель в виде пружины будет их очищать.

Работоспособность представленного очистителя пружинного вида была проверена в ходе сравнительных опытов с шариковой очисткой. Опыты проводили на двух частотах вращения приводного вала 350 и 450 мин<sup>-1</sup>, и на двух амплитудах колебания решетного стана 16 и 28 мм. Подачу брали: 4,0; 7,5; 11,7; 15,0; 20,7; 24,5; 30,0 т/ч. Состав исходного вороха представлен в разделе 4.1.

Исследования проводили на разработанной нами лабораторной установке, схема и принцип работы которой изложен в разделе 3.1. Результаты исследований по влиянию конструктивных и режимных параметров решетного стана на эффективность работы решет представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Влияние типа очистителя на коэффициент сепарации

Подача а, т/ч.	Очиститель	шарик				Очиститель в виде пружины			
	Частота, мин <sup>-1</sup>	350		450		350		450	
	Амплитуда, мм	16	28	16	28	16	28	16	28
		Коэффициент сепарации, м <sup>-1</sup>							
4,0		0,176	0,198	0,224	0,298	0,166	0,212	0,231	0,331
7,5		0,156	0,176	0,206	0,257	0,145	0,194	0,217	0,312
11,7		0,136	0,149	0,186	0,216	0,128	0,162	0,191	0,270
15,0		0,126	0,136	0,156	0,191	0,117	0,145	0,170	0,239
20,7		0,111	0,116	0,132	0,162	0,101	0,126	0,141	0,197
24,5		0,095	0,104	0,106	0,142	0,089	0,112	0,122	0,165
30,0		0,079	0,089	0,094	0,114	0,073	0,096	0,103	0,132

Используя результаты, представленные в таблице 4.3, построили графические зависимости коэффициента сепарации от производительности

зерноочистительной машины (рис. 4.6, 4.7).

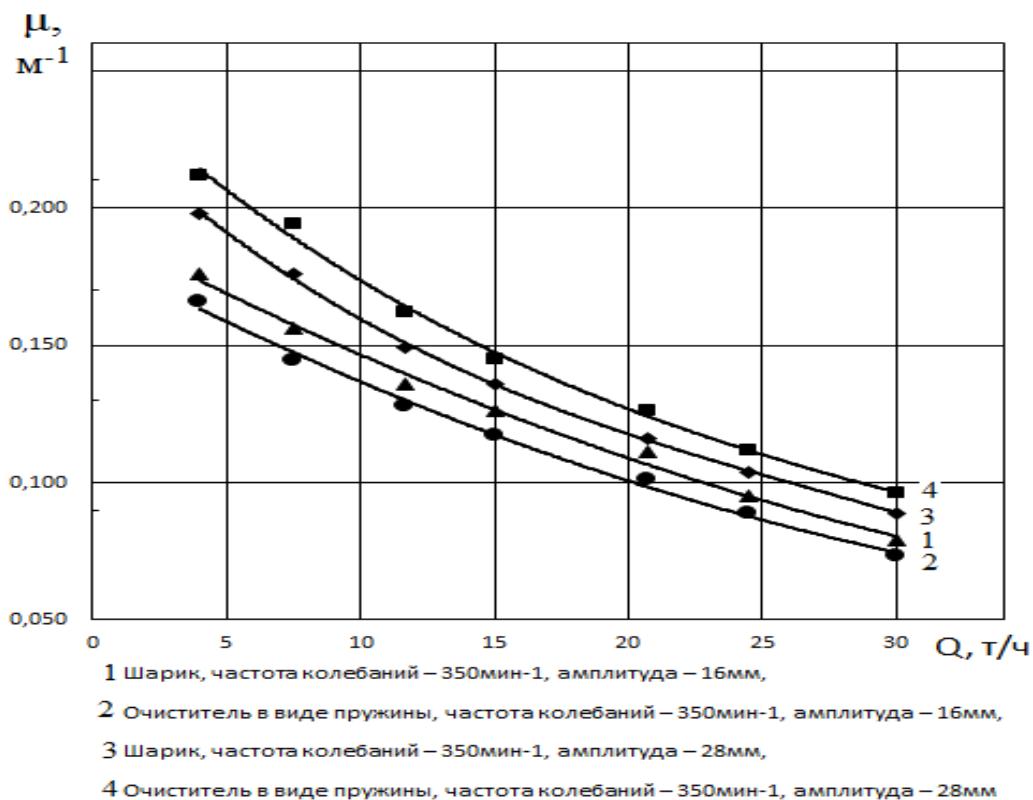


Рисунок 4.6 – Влияние производительности зерноочистительных машин на коэффициент сепарации при частоте колебаний 350 мин<sup>-1</sup>

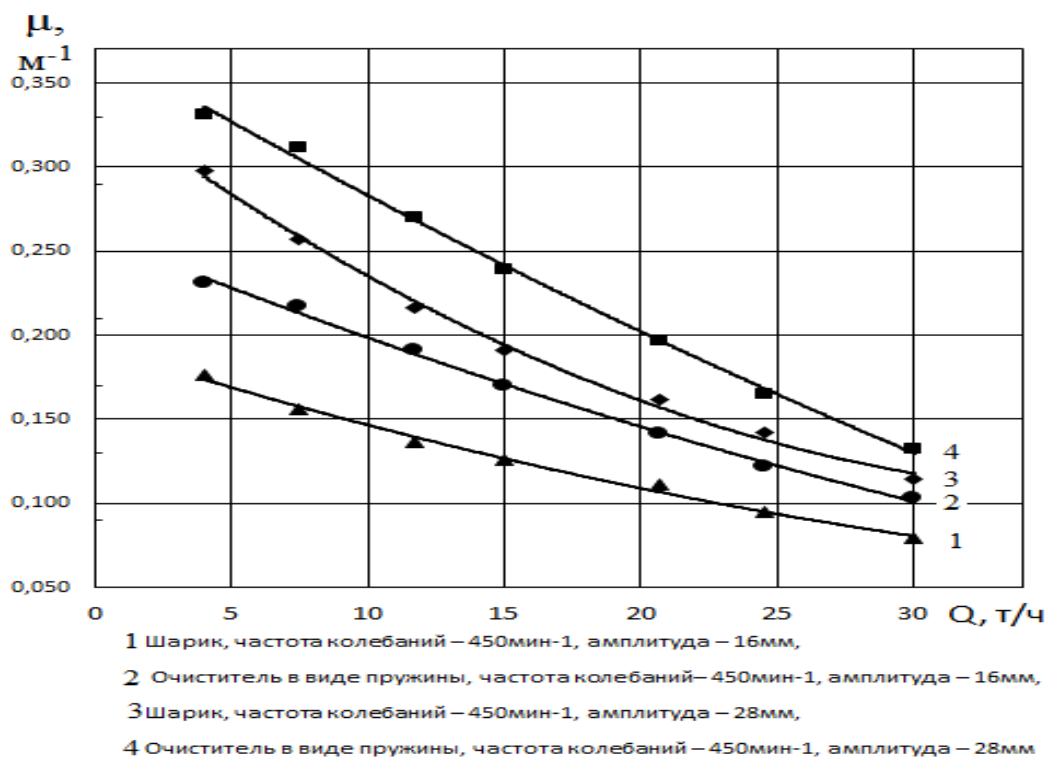


Рисунок 4.7 – Влияние производительности зерноочистительных машин на коэффициент сепарации при частоте колебаний 450 мин<sup>-1</sup>

Анализ зависимостей представленных в таблице 4.3 и на рисунках 4.6 и 4.7 показывает, что с увеличением производительности зерноочистительной машины с 4 т/ч до 30 т/ч наблюдается снижение коэффициента сепарации более чем в 2 раза не зависимо от режима работы и типа очистителя. Это обусловлено увеличением толщины слоя зернового вороха на решетке. Сепарация зерна с увеличением амплитуды с 16 до 28 мм при частоте колебаний  $350 \text{ мин}^{-1}$  происходит эффективнее на 27,7 – 31,5 % и 12,5 – 12,6 %, а при частоте  $450 \text{ мин}^{-1}$  на 28,2 – 43,3 % и 21,3 – 33 % соответственно при применении очистителей в виде пружины и шариков. Как видно, более выраженное влияние амплитуда оказывает при использовании нового типа очистителя, так как с увеличением амплитуды возрастает количество контактов очистителя в виде пружины с решетом за один оборот вала привода решетного стана. А благодаря своей конструкции разовое число контактов у очистителя в виде пружины выше, чем у шарикового очистителя, что обуславливает более высокий коэффициент сепарации при его использовании на 3 – 15,7 % [94].

Основным показателем, оценивающим работоспособность решет, является коэффициент использования живого сечения, который уменьшается по мере их забивания. Только качественная очистка решет в процессе работы зерноочистительной машины позволит увеличить их производительность. Экспериментальная установка для обработки зернового вороха на плоских пробивных решетках представлена на рисунке 3.1, а методика проведения экспериментальных исследований представлена в разделе 3.6.

Забиваемость и просеиваемость решет с продолговатыми и круглыми отверстиями определяли путем сравнительных исследований при использовании очистителя в виде пружины диаметром 22 мм. Частота колебаний решетного стана составляла  $450 \text{ мин}^{-1}$ , а амплитуда колебаний 28 мм, размер ячейки отражательной поверхности составлял 50 мм. Результаты экспериментальных исследований по определению влияния формы отверстий решет на просеиваемость и забиваемость представлена в таблице 4.4.



Таблица 4.4 – Влияние размеров отверстий решет на просеваемость и забиваемость

Ширина отверстия решета, мм	Просеваемость, %	Коэффициент $K$	Диаметр отверстий решета, мм	Просеваемость, %	Коэффициент $K$
2,2	4,34	0,86	2,0	0,51	1,0
2,4	9,70	0,84	2,5	0,76	1,0
2,6	15,20	0,88	3,0	1,64	1,0
2,8	28,42	0,92	3,6	2,44	1,0
3,0	44,65	0,95	4,0	10,32	1,0
3,4	94,72	1,0	5,0	28,11	1,0
			6,0	66,21	1,0

Данные представленные в таблице 4.4 показывают, что при использовании решет с круглыми отверстиями с увеличением их диаметра с 2,0 до 6,0 мм происходит рост просеваемости с 0,51 до 66,21 %. Круглые отверстия решет в ходе опытов не забивались.

Иная ситуация наблюдается у решет с прямоугольными отверстиями, где коэффициент использования живого сечения решета  $K$  сначала снижается с ростом ширины отверстий, а затем увеличивается. Коэффициента  $K$  имеет наименьшее свое значение при соизмеримых размерах отверстий решет и большей части элементов зернового вороха.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что решета с продолговатыми отверстиями имеют более высокую просеваемость, чем решета с круглыми отверстиями. При этом у вторых, отсутствуют проблемы с забиваемостью решет, как это наблюдается при работе с продолговатыми отверстиями.

#### 4.4 Влияние угла наклона подвесок решетного стана на фракционирование зернового вороха

Анализ состояния механизации послеуборочной обработки зерновых, зернобобовых, крупяных и других культур показал, что доминирующим и основным средством очистки остаются зерноочистительные агрегаты и зерноочистительные комплексы, в технологических линиях которых устанавливаются зерноочистительные машины. Производительность зерноочистительной машины зависит от состава обрабатываемого вороха, его физико-механических свойств, работы приемно-распределительных устройств для их загрузки, способных обеспечить повышение равномерности распределения зернового материала по поверхности решета (Приложение И) [124, 125] и конструктивно – кинематических параметров работы решетного стана [92, 93, 111, 114, 116].

Исследования по изучению влияния угла наклона подвесок решетного стана на фракционирование зернового вороха проводили в лабораторных условиях на разработанной и изготовленной нами экспериментальной установке, схема и принцип работы которой представлен в разделе 3.2 и 3.9 и на рисунках 3.1 и 3.5. Состав исходного вороха для проведения экспериментальных исследований представлен в таблице 4.1.

Для определения влияния режимных параметров работы решет на коэффициент сепарации были проведены многофакторные исследования по плану Бокса – Бенкина.

Условия, матрица планирования и результаты опытов представлены в таблице 4.5

Таблица 4.5 – Матрица планирования 1/8 реплики многофакторного эксперимента по плану  $2^7$  и результаты опытов при изучении сепарации зерна.

Показатели	X <sub>1</sub> ,	X <sub>2</sub> ,	X <sub>3</sub> ,	X <sub>4</sub> ,	X <sub>5</sub> ,	X <sub>6</sub> ,	X <sub>7</sub> ,	Масса зерна, г		Коэффициент сепарации, М <sup>-1</sup>
	т/ч	мм	мин <sub>1</sub>	град.	град.	м	мм	У <sub>1</sub>	У <sub>2</sub>	
Основной уровень	20	22	350	6	10	0,5	2,8	У <sub>1</sub>	У <sub>2</sub>	μ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Интервал варьирования	5	6	50	2	10	0,2	0,2			
Верхний уровень(+)	25	28	400	8	20	0,7	3,0			
Нижний уровень(-)	15	16	300	4	0	0,3	2,6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Опыты:										
1	+	+	-	-	+	+	+	3776,6	1223,4	0,36
2	+	-	-	-	-	+	-	4383,3	617,7	0,17
3	-	+	-	-	-	-	+	3713,3	1286,7	0,38
4	-	-	-	-	+	-	-	4216,7	783,3	0,22
5	+	+	+	-	-	-	-	4520	480	0,13
6	+	-	+	-	+	-	+	3363,3	1636,7	0,5
7	-	+	+	-	+	+	-	4136,7	863,3	0,24
8	-	-	+	-	-	+	+	3603,3	1396,7	0,41
9	+	+	-	+	-	-	-	4496,7	503,3	0,13
10	+	-	-	+	+	-	+	3960	1040	0,30
11	-	+	-	+	+	+	-	4183,3	817,7	0,23
12	-	-	-	+	-	+	+	3883,3	1116,7	0,32
13	+	+	+	+	+	+	+	3853,3	1146,7	0,33
14	+	-	+	+	-	+	-	4406,7	593,7	0,16
15	-	+	+	+	-	-	+	2410	2590	0,92
16	-	-	+	+	+	-	-	4243,3	756,7	0,21

где:  $X_1$  –подача зернового вороха на решето, т/ч;

$X_2$  – амплитуда колебаний решетного стана, мм;

$X_3$  – частота колебаний, мин<sup>-1</sup>;

$X_4$  – угол наклона решета к горизонту, град.;

$X_5$  – угол наклона подвесок решетного стана, град.;

$X_6$  – длина подвесок решетного стана относительно вертикали, м;

$X_7$  – размер отверстий решета, мм;

$У1$  – масса зерна сошедшего с решета, г.;

$У2$  – масса зерна прошедшего через решето, г.;

$\mu$  – коэффициент сепарации,  $m^{-1}$ .

Анализ данных таблицы 4.5 показывает, что при различных конструктивных и режимных параметрах работы решетного стана масса зерна сошедшего с решета изменяется с 2,4 до 4,5 кг, прошедшего через решето с 0,5 до 1,6 кг, при этом коэффициент сепарации изменяется от 0,13 до 0,92  $m^{-1}$ .

Для получения математической зависимости, описывающей влияние исследуемых параметров, на показатели работы решетного стана проводили статистическую обработку полученных данных. Обработка результатов исследований с отбросом незначущих факторов показала, что коэффициент сепарации достаточно точно описывается уравнением:

$$\begin{aligned} \mu = & -0,56 - 0,21X_7^2 + 0,86 \cdot 10^{-3}X_1X_7 + 5 \cdot 10^{-3}X_3X_7 - 0,02 \cdot 10^{-3}X_3^2 - \\ & - 2,6 \cdot 10^{-3}X_3X_6 + 37 \cdot 10^{-3}X_1X_6 + 0,09 \cdot 10^{-3}X_2X_3 - 1,4X10^{-3}X_1X_2 - \\ & - 0,37 \cdot 10^{-3}X_4X_5 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Из уравнения видно, что наиболее значимыми факторами, влияющими на коэффициент сепарации, являются размер отверстий решета и совместное влияние подачи и длины подвесок решетного стана.

В большинстве зерноочистительных машин применяются вертикально расположенные подвески, значения которых на процесс сепарации оценивался только их длиной. В литературе не отражено влияния изменения угла наклона на процесс сепарации. Есть конструкция зерноочистительной машины, где подвески закреплены фиксировано, не симметрично наклонно под углом  $12^\circ$  к вертикали в одну сторону, но это ограничивает функциональные возможности работы решетного стана при сортировании различных культур с/х назначения.

В процессе исследований изучали влияния угла наклона подвесок на качество сепарации и процесс возникновения продольно-поперечных колебаний. При расположении подвесок с противоположным углом наклона относительно

вертикали по обеим сторонам решетного стана, при движении вправо, левая сторона решетного стана будет опускаться, а правая подниматься. При движении влево наоборот. При этом, наряду с продольными и вертикальными колебаниями будут возникать поперечные колебания решетного стана и естественно комплекта решет и слоя зернового материала, находящегося на них. Схема крепления подвесок решетного стана представлена на рисунке 4.8.

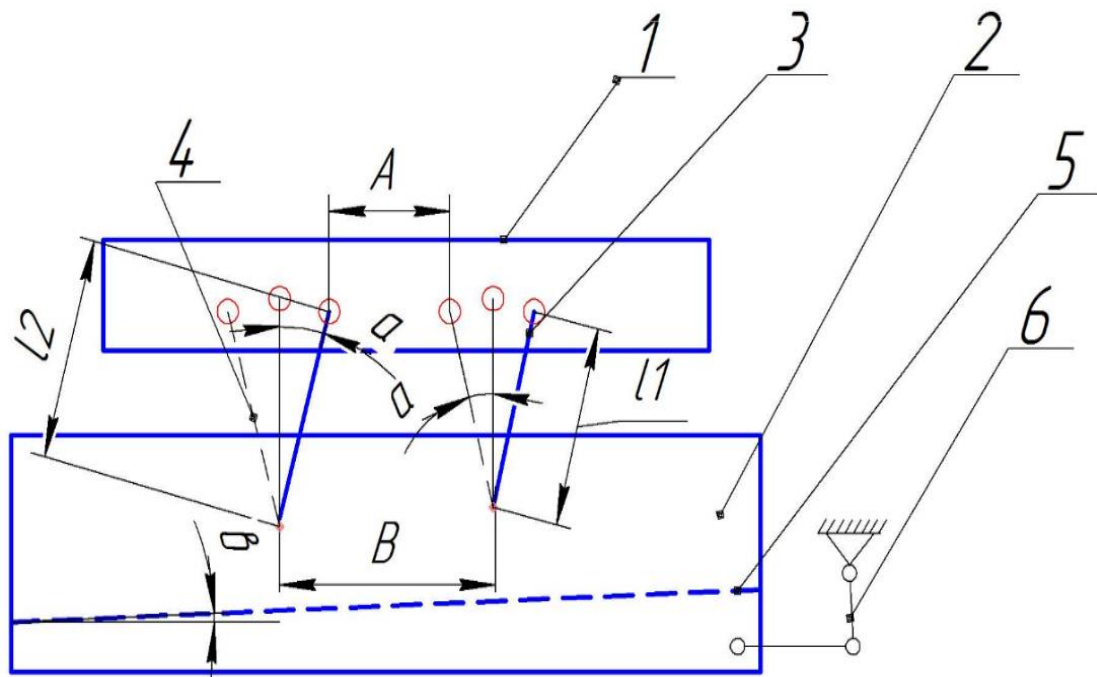


Рисунок 4.8 – Схема крепления подвесок решетного стана: 1 – корпус, 2 – решетный стан, 3 – передняя плоская пружина, 4 – задняя плоская пружина, 5 – решето, 6 – привод,  $a$  – угол наклона подвесок,  $b$  – угол наклона решета

Частицы зернового вороха, находящиеся на решете, при описанном выше движении решетного стана во всех случаях будут равномернее распределяться и взаимодействовать между собой, что будет способствовать самосортированию и разделению на фракции. Это позволит увеличить производительность зерноочистительной машины и улучшить качество разделения зерновой смеси. Данное предположение было проверено в ходе сравнительных опытов, в которых сравнили влияние различных типов подвесок (разно-наклонные, вертикальные) на процесс сепарирования. В исследованиях использовали зерновой ворох пшеницы, полученный непосредственно из-под комбайна. Состав исходного вороха для

проведения исследований представлен в таблице 4.1. Исследования проводили при подаче 15 т/ч.

В ходе опытов менялась частота колебания решета от  $300 \text{ мин}^{-1}$  до  $450 \text{ мин}^{-1}$ , с шагом  $25 \text{ мин}^{-1}$ , так как эти частоты в основном используются в современных зерноочистительных машинах, амплитуда колебаний составляла 16 и 28 мм, длина подвесок – 300 мм. Наклон подвесок относительно вертикальной оси при разнонаправленном положении –  $12,5^\circ$ .

Результаты лабораторных исследований представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Влияние типа подвески решетного стана на процесс сепарации

Частота колебаний, $\text{мин}^{-1}$	Амплитуда, мм	Коэффициент сепарации при вертикальном расположении подвесок,	Коэффициент сепарации при разнонаправленном расположении подвесок,
n	A	$\mu, \text{м}^{-1}$	
300	28	0,138	0,143
	16	0,124	0,158
325	28	0,136	0,152
	16	0,127	0,162
350	28	0,135	0,160
	16	0,31	0,166
375	28	0,140	0,176
	16	0,121	0,150
400	28	0,146	0,192
	16	0,111	0,135
425	28	0,152	0,187
	16	0,117	0,135
450	28	0,157	0,182
	16	0,122	0,136

Используя результаты, представленные в таблице 4.6, построили графические зависимости коэффициента сепарации от частоты колебаний решетного стана при вертикальном и разнонаправленном расположении подвесок (рис. 4.9).

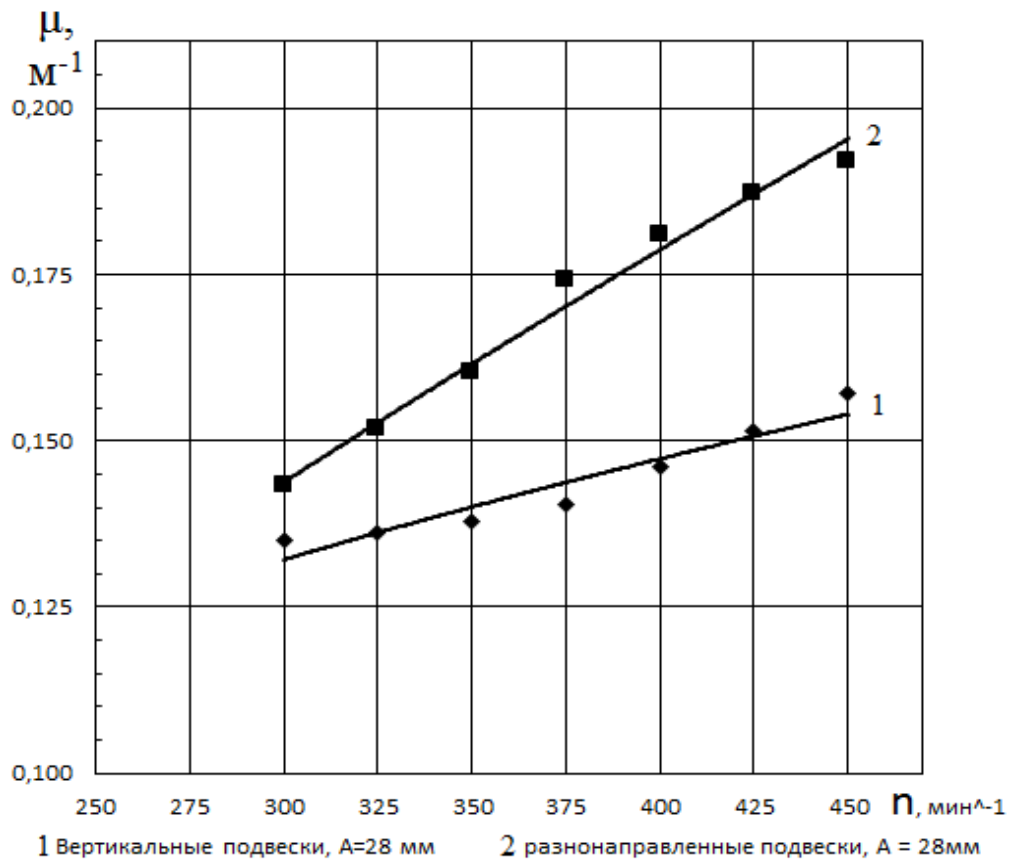
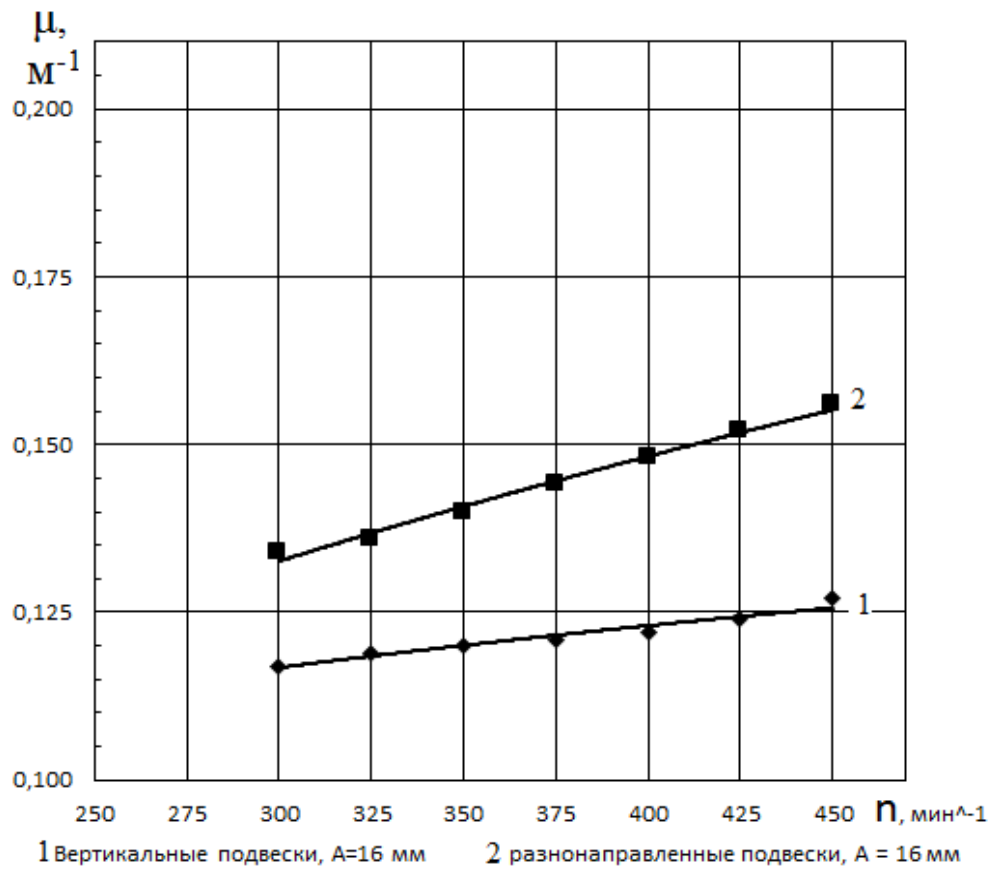


Рисунок 4.9 – Зависимость коэффициента сепарации от частоты колебаний решетного стана при вертикальном и разнонаправленном расположении подвесок

Анализ данных, представленных выше, показывает, что на всех частотах колебаний и всех значениях амплитуды разнонаправленные подвески дают лучший результат. На всех кинематических режимах работы лабораторной установки при проведении опытов проход частиц при разнонаправленном расположении подвесок увеличивается в пределах от 6 % до 39 % по сравнению с вертикально расположенными подвесками. При работе машины на амплитуде колебаний 16 мм при частоте 300 мин<sup>-1</sup>, наблюдается существенное преимущество использования разнонаправленных подвесок в 39 % по сравнению с вертикально расположенными. С дальнейшим увеличением частоты колебаний, на той же амплитуде, происходит снижение разницы в значениях коэффициента сепарации для разнонаправленных и вертикально установленных подвесок до 11 %. Это связано с тем, что с ростом частоты колебаний при малой их амплитуде, происходит снижение времени пребывания зернового материала на решетке, и зерновка не успевает правильно сориентироваться по отношению к отверстию решета. Обратная тенденция наблюдается при работе решетного стана зерноочистительной машины на амплитуде 28 мм. Так, при частоте колебаний 300 мин<sup>-1</sup>, преимущество разнонаправленных подвесок по сравнению с вертикально расположенными составляет 6 %, но с ростом частоты вращения приводного вала увеличивается до 22 %.

Для определения влияния амплитуды колебаний, частоты вращения вала привода решетного стана и угла наклона решет были проведены лабораторные исследования.

В ходе опытов меняли частоту колебания решета от 350 мин<sup>-1</sup> до 450 мин<sup>-1</sup>, с шагом 25 мин<sup>-1</sup>, так как эти частоты в основном используются в современных зерноочистительных машинах, амплитуда колебаний составляла 16 и 28 мм, длина подвесок – 300 мм. Наклон подвесок относительно вертикальной оси при разнонаправленном положении – 12,5°. Исследования проводили при подаче зернового вороха 15 т/ч.

Условия, матрица планирования и результаты опытов представлены в таблице 4.7



Таблица 4.7 – Матрица планирования трех факторного эксперимента и результаты опытов

Показатели	X <sub>1</sub> , мм	X <sub>2</sub> , мин <sup>-1</sup>	X <sub>3</sub> , град.	Масса зерна, г		Коэффициент сепарации, м <sup>-1</sup>
				Усход	Упроход	
Основной уровень	22	400	7,5			μ
Интервал варьирования	6	50	7,5			
Верхний уровень (+)	28	450	15			
Нижний уровень (-)	16	350	0			
Опыты:						
1	-	-	+	4385	615	0,166
2	+	-	+	4405	595	0,160
3	-	+	+	4490	510	0,136
4	+	+	+	4330	670	0,182
5	-	-	-	4510	490	0,131
6	+	-	-	4495	505	0,135
7	-	+	-	4540	460	0,122
8	+	+	-	4415	585	0,158

где: X<sub>1</sub> – частота колебаний (350-350), мин<sup>-1</sup>;

X<sub>2</sub> – амплитуда колебаний решетного стана (16-28), мм;

X<sub>3</sub> – расположение подвесок (разнонаправленное - параллельное);

Анализ данных показывает, что на всех частотах колебаний и всех значениях амплитуды разнонаправленные подвески дают лучший результат. На всех кинематических режимах работы лабораторной установки при проведении опытов проход частиц при разнонаправленном расположении подвесок увеличивается при амплитуде 28 мм на 13-36 %, а при амплитуде 16мм на 11-20 % по сравнению с вертикально расположенными подвесками.

Применение данного технического решения позволит повысить пропускную способность решета за счет изменения характера движения зерносмеси по его поверхности минимум на 11 %. Следовательно, изменение угла наклона подвесок, а в частности разнонаправленное их расположение поможет интенсифицировать процесс сепарации.

По нашему мнению, на характер перемещения зерновок по поверхности

решета и их самоориентирование относительно отверстий будет оказывать угол наклона подвесок, амплитуда и частота колебаний, а также объемно-весовые характеристики зернового вороха, поданного на рабочую поверхность решетчатого стана.

Исследование влияния отмеченных факторов на процесс сепарации зернового материала на плоских решетках зерноочистительных машин проводили на лабораторной установке, представленной на рисунке 3.1. при подачах зернового материала 7,0; 15,0; и 24,5 т/ч, частоте колебаний решетчатого стана 350, 400, 450 мин<sup>-1</sup>, амплитуде колебаний 28 и 16 мм. Длину подвесок брали 300 мм, угол их наклона изменяли 0; 7,5; 15,0; 24,5°. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 4.8

Таблица 4.8 – Влияние угла разнонаправленного наклона передних и задних подвесок на процесс сепарации

Угол Наклона Подвесок, °	очиститель	шарик					
	Амплитуда, мм	16			28		
	Частота, мин <sup>-1</sup> .	350	400	450	350	400	450
	Подача, т/ч	Коэффициент сепарации $\mu$ , м <sup>-1</sup>					
0	7,5	0,185	0,202	0,202	0,266	0,257	0,232
0	15	0,116	0,119	0,124	0,139	0,141	0,150
0	24,5	0,086	0,119	0,091	0,111	0,108	0,094
7,5	7,5	0,196	0,141	0,140	0,211	0,196	0,176
7,5	15	0,167	0,119	0,108	0,119	0,122	0,122
7,5	24,5	0,147	0,108	0,091	0,097	0,086	0,094
15	7,5	0,161	0,187	0,18	0,214	0,220	0,220
15	15	0,122	0,133	0,133	0,139	0,136	0,139
15	24,5	0,111	0,119	0,116	0,113	0,105	0,100
24,5	7,5	0,173	0,179	0,205	0,179	0,190	0,229
24,5	15	0,147	0,133	0,139	0,113	0,122	0,176
24,5	24,5	0,133	0,122	0,127	0,091	0,100	0,156

Анализ полученных данных представленных в таблице 4.8 показывает, что при любой подаче увеличение угла наклона подвесок от 0 до  $7,5^\circ$  приводит к снижению коэффициента сепарации решет на  $0,001 \dots 0,062 \text{ м}^{-1}$ , что составляет от 0,1 до 28 %. Это происходит из-за возникновения инерционных сил, препятствующих равномерному распределению зернового материала по решетку, кроме режима с частотой  $350 \text{ мин}^{-1}$  и амплитудой 16мм, где происходит увеличение прохода на  $40 \dots 180 \text{ г}$  или от 5,5 до 29 %. Это можно объяснить тем, что колебательное движение, воздействующее на очищаемый материал при данных параметрах работы решетного стана, повышают вероятность контакта зерновки с отверстиями решета. При увеличении угла наклона подвесок с  $7,5$  до  $15^\circ$  возрастает количество проходовой фракции на  $20 \dots 150 \text{ г}$  или 5,2-23,2 %, на всех режимах, кроме частоты 350 и амплитуды 16мм, где происходит снижение прохода на  $120 \dots 160 \text{ г}$  или 16,7-25,8 %. Дальнейшее увеличение угла наклона от 15 до  $24,5^\circ$  несколько снижает процент проходовой фракции на режимах с частотой колебаний 350,  $400 \text{ мин}^{-1}$  и амплитудой 28 мм,  $450 \text{ мин}^{-1}$  и 16 мм от 5 до 15% или на  $30 \dots 120 \text{ г}$ . На остальных режимах наблюдается рост пропускной способности от 3,8 до 34,4 %, коэффициент сепарации увеличился на  $10 \dots 200 \text{ г}$ . Исходя из полученных сведений, можно сделать вывод о том, что изменение угла разнонаправленного наклона передних и задних подвесок существенно влияет на процесс сепарации. Изменять угол наклона подвесок на незначительный угол есть смысл только при частоте колебаний решетного стана  $350 \text{ мин}^{-1}$  и амплитуде 16 мм. Дальнейшее увеличение угла наклона подвесок более целесообразно, особенно на частоте  $450 \text{ мин}^{-1}$  и амплитуде 28 мм.

#### **4.5 Влияние типа отражательной поверхности и размеров разделительной ячейки на качество очистки решет**

Физико-механические свойства зернового вороха, который поступает на послеуборочную обработку, считаются одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность работы зерноочистительных машин. Зерновой ворох, поступающий от комбайнов на зерноочистительные агрегаты и

зерноочистительные комплексы является механической смесью различных компонентов (из полноценных, щуплых и поврежденных семян основной культуры, семян других культур и сорных растений), а также примесей минерального и органического происхождения. Высокий уровень травмирования и наличие в зерновом ворохе большого количества засорителей, дробленого и биологически неполноценного зерна, создают благоприятные условия для обитания и размножения микроорганизмов, ухудшающих посевные качества семян [109, 110, 113, 115, 148, 151].

Производительность зерноочистительных машин, входящих в технологические линии зерноочистительных агрегатов, зависит от состава обрабатываемого вороха, его физико-механических свойств, конструктивных и режимных параметров работы машин.

Для проведения исследований по влиянию типа отражательной поверхности, очистителя плоских решет и размера разделительной ячейки нами был взят ворох озимой пшеницы «Московская 39» при работе зерноуборочных комбайнов «ДОН – 1500Б», качественный состав которого представлен в таблице 4.1.

Исследования по влиянию выше перечисленных элементов решетного стана на эффективность сепарации зернового вороха на плоских решетках проводили на изготовленной нами экспериментальной установке [91, 110, 136], схема которой представлена на рисунке 3.1, устройство и принцип работы представлен в разделе 3.2.

Для очистки плоских решет от застрявших в отверстиях элементов зернового вороха на экспериментальной установке применяли шариковый очиститель и разработанный на кафедре СХМ Воронежского ГАУ очиститель пружинного вида [114]. Схема отражательной поверхности с экспериментальным очистителем представлена на рисунке 4.5.

Установлено [95, 96], что применение представленной отражательной поверхности с экспериментальным очистителем в виде пружины позволяет повысить интенсивность сепарации зерна при различных режимах работы

решетного стана зерноочистительной машины на 2,0...16,7 %. Для определения влияния типа отражательной поверхности и размеров разделительной ячейки (клетки) на работу очистителей были проведены исследования забиваемости решет с прямоугольными отверстиями шириной 2,6 мм при производительности 20 и 40 т/ч.

В ходе исследований изменяли длину разделительной ячейки при разной производительности. Ширина ячейки была равна 200 мм и оставалась постоянной. В качестве очистителей решет использовали шарики диаметром 26 мм и очистители в виде пружины диаметром 22 мм и длиной 190 мм. Частота вращения вала привода составляла  $400 \text{ мин}^{-1}$ , амплитуда колебаний решетного стана 28,0 мм. В каждую ячейку установили по два шарика или один очиститель в виде пружины.

Результаты исследований представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Влияние размеров ячейки на коэффициент использования живого сечения решета  $K$

Длина клетки, мм	Производительность, т/ч	Коэффициент $K$ , для шариков	Коэффициент $K$ , для очистителя пружинного вида
30	20	0,86	0,89
	40	0,88	0,91
40	20	0,90	0,93
	40	0,92	0,95
50	20	0,93	0,97
	40	0,95	0,98
60	20	0,91	0,93
	40	0,92	0,94
70	20	0,81	0,85
	40	0,83	0,86

Используя экспериментальные данные представленные в таблице 4.9, построили графическую зависимость коэффициента эффективности использования живого сечения решета от длины ячейки (рис. 4.10).

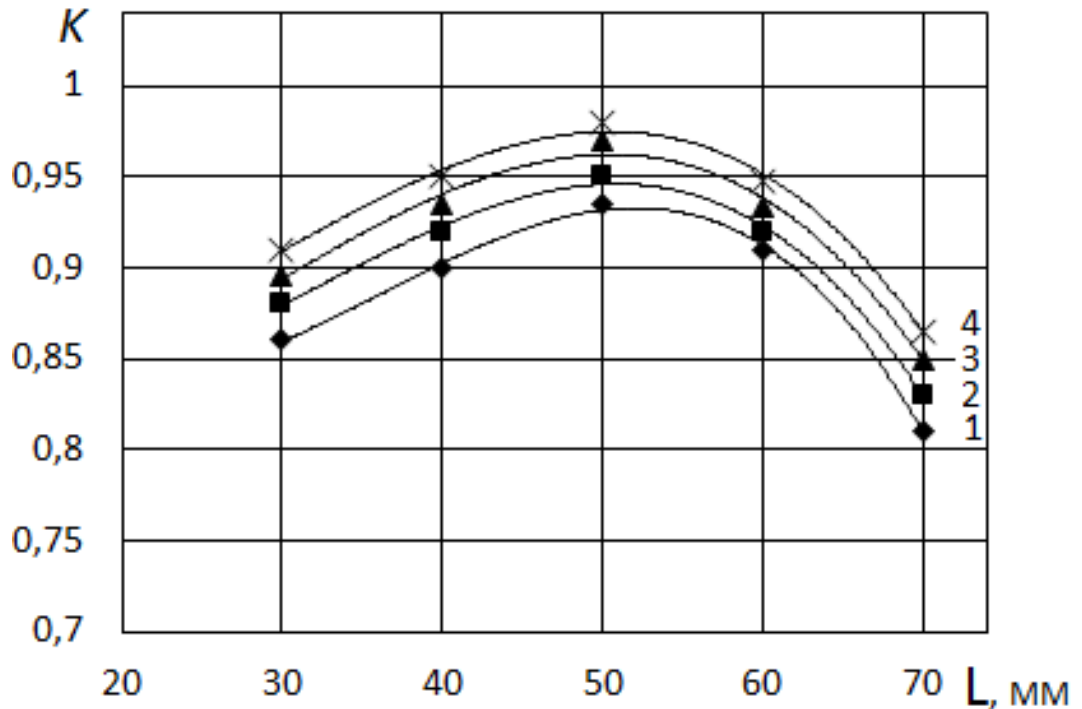


Рисунок 4.10 – Зависимость коэффициента использования живого сечения решета от длины ячейки: 1 – шариковый очиститель, производительность 20 т/ч; 2 – шариковый очиститель, производительность 40 т/ч; 3 – очиститель в виде пружины, производительность 20 т/ч; 4 – очиститель в виде пружины, производительность 40 т/ч

Анализ результатов исследований, представленных в таблице 2 и на рисунке 3 показывает, что с увеличением длины ячейки от 30,0 до 70,0 мм при различных подачах коэффициент использования живого сечения решета сначала возрастает, а затем снижается, достигая максимального значения при длине ячейки равной 50,0 мм для шариковых очистителей 0,93...0,95, а для очистителей пружинного вида 0,97...0,98 при отмеченных подачах соответственно. Значение коэффициента  $K$  у очистителей пружинного вида выше в сравнении с шариковыми очистителями. Это объясняется увеличением разового числа контактов очистителя в виде пружины с решетом в процессе возвратно-поступательного движения решетчатого стана и отражательной поверхности. Использование предлагаемого технического решения существенно повысит

качество очистки решет и производительность решетного стана.

#### **4.6. Влияние конструкции привода решетного стана на эффективность сепарации**

При производстве зерна наиболее ответственным и технически сложным процессом является послеуборочная обработка, для реализации которой в основном используются зерноочистительные машины. В качестве рабочих органов таких машин применяются плоские решета с различной формой и размерами отверстий в зависимости от обрабатываемой культуры.

Ход процесса сепарации зерновых смесей на плоских решетках зерноочистительных машин в первую очередь обуславливается конструктивно-кинематическими параметрами, амплитудой и частотой колебаний решетного стана. Для осуществления колебательного движения решет в существующих отечественных и зарубежных конструкциях зерноочистительных машин предусмотрены различные конструкции механизмов привода. Наиболее широкое распространение получил эксцентриковый привод. В общем случае он включает в себя электродвигатель или другой силовой агрегат, механизмы передачи и преобразования вращательного движения от двигателя в возвратно-поступательное движение решета, за счет эксцентрикового механизма, жестко связанного с решетным станом. В крайних положениях перемещения рабочих органов возникают значительные инерционные силы, зависящие от массы, амплитуды и частоты колебаний решетного стана. Это отрицательно сказывается на надежности работы и производительности зерноочистительной машины.

Минимизировать действие инерционных сил на работу зерноочистительной машины можно за счет представленной на рисунке 3.6 конструкции привода, включающего, эксцентрик 6, толкатель 7, в плоскости которого корпус решетного стана крепится к раме пружиной 5. Особенностью конструкции является то, что между толкателем и корпусом решетного стана отсутствует жесткая связь, как в случае с использованием шатуна или других соединительных звеньев [119].

В зерноочистительной машине, с таким приводом, вращательное движение

эксцентрика 6 преобразуется в возвратно-поступательное перемещение толкателя 5, при этом возникает контактно-силовое взаимодействие между ним и корпусом решетного стана 1. При движении толкателя 7 влево, подвески 3 и решетный стан 1 также отклоняются в эту сторону. Инерционные силы преодолевают жесткость пружины 5 и она сжимается. Силовое взаимодействие между толкателем 7 и решетным станом 1 уменьшается. При движении толкателя 7 вправо решетный стан 1 под действием сжатой пружины 5 также перемещается вправо, при этом инерционные силы способствуют обратному движению и далее происходит повторение процесса. Происходит перераспределение энергии между приводом и решетным станом.

В крайних точках перемещения решетного стана происходит разрыв силового взаимодействия между ним и толкателем. При движении влево эксцентриковый привод нагружен, при обратном движении он не испытывает нагрузки и колебания не передаются на корпус машины. Инерционные силы решетного стана так же зависят от оптимальных значений амплитуды и частоты его колебаний. В конечном итоге все выше перечисленное влияет на производительность и надежность машины в целом.

Работоспособность предлагаемой конструкции была проверена в ходе сравнительных испытаний на лабораторной установке [91, 92, 111]. опыты проводили на неочищенном зерновом ворохе озимой пшеницы «Московская 39», состав которого представлен в таблице 4.1. Методика проведения опытов изложена в разделе 3.9.

При исследовании использовали два вида привода решетного стана: серийный и экспериментальный, разработанный на кафедре СХМ Воронежского ГАУ. Зерновой ворох разделяли на проходовую и сходовую фракции. Частота колебаний решетного стана составляла 300, 350, 400, 450 мин<sup>-1</sup> и амплитуда – 16, 22, 28 мм.

Результаты исследований по влиянию частоты вращения вала привода решетного стана на пропускную способность решет при работе на амплитуде 28 и 16 мм представлены на рисунках 4.11 и 4.12 соответственно.



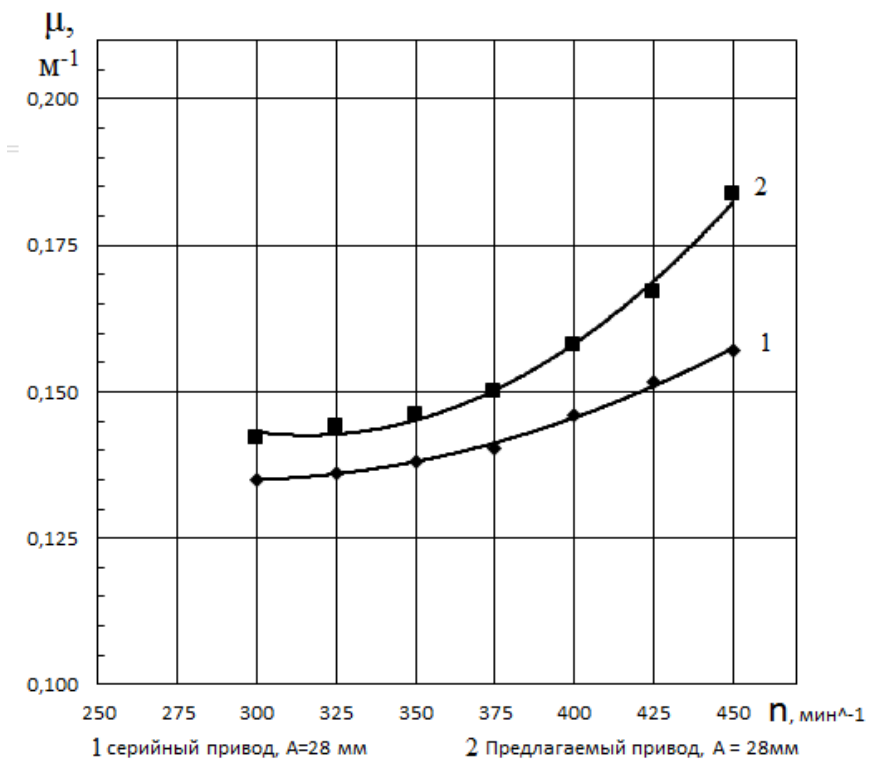
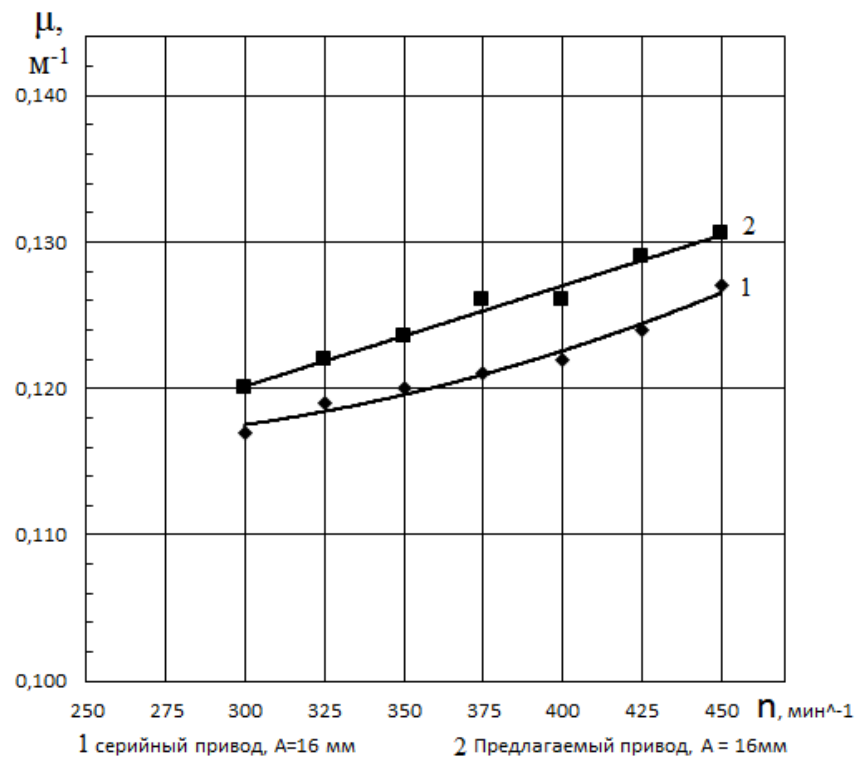


Рисунок 4.11 – Влияние частоты привода решетного стана на коэффициент сепарации

Анализ результатов исследований, представленных на рисунке 4.11 показывает, что с увеличением числа оборотов вала привода решетного стана коэффициент сепарации  $\mu$  увеличивается. Для экспериментального привода он изменяется от 0,12 до 0,184 м $^{-1}$ , а для базового от 0,117 до 0,157 м $^{-1}$ .

Использование экспериментальной конструкции привода решетного стана позволяет увеличить его производительность на 2,5...17%. Это объясняется более мягким режимом работы решетного стана за счет снижения инерционных сил.

Результаты исследований совместного влияния нового технического решения для привода и очистителя решет в виде пружины, при использовании разнонаправленных подвесок на коэффициент сепарации зернового вороха представлены на рисунке 4.12 (приложение И).

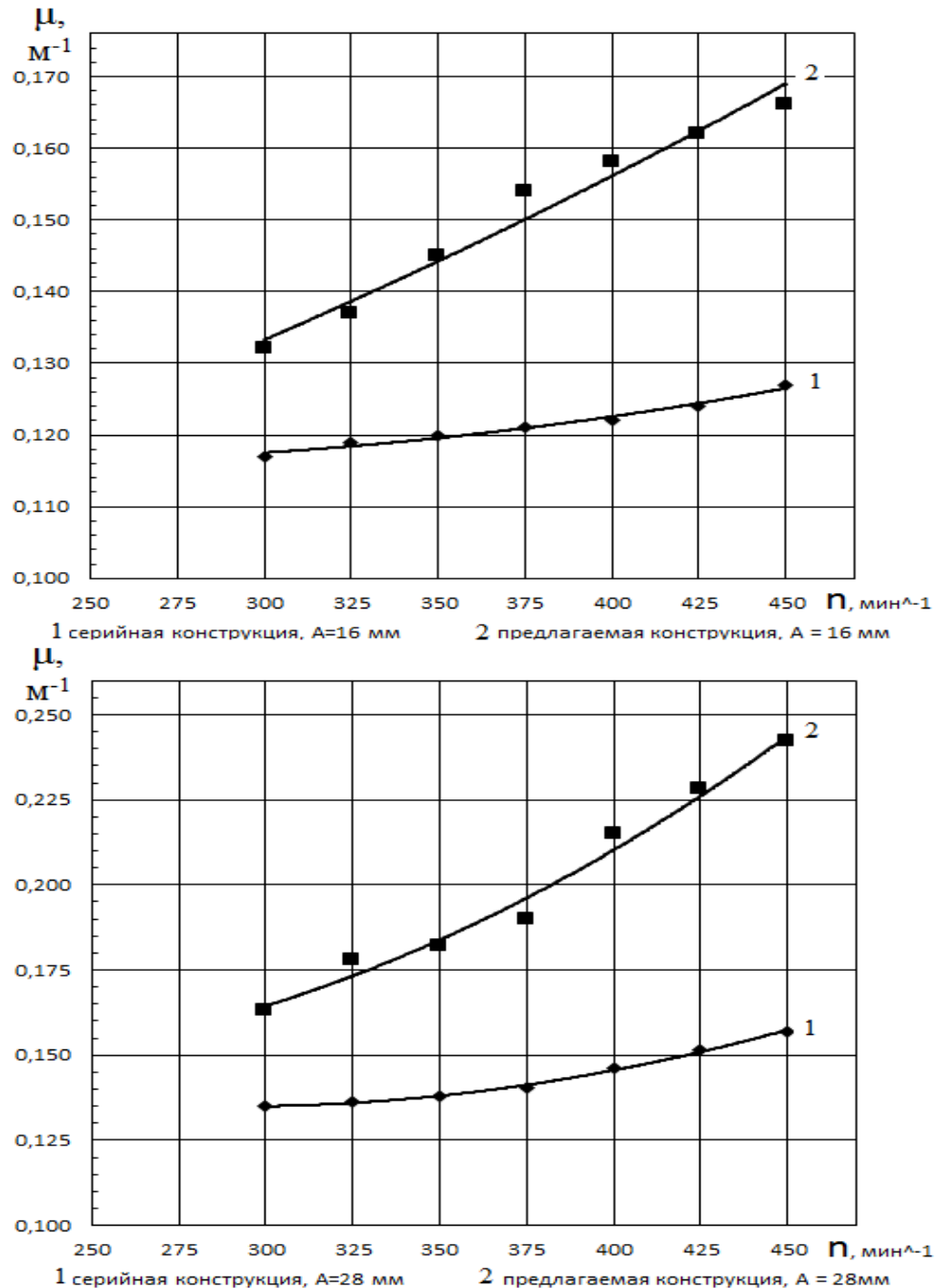


Рисунок 4.12 – Влияние частоты вращения вала привода решетного стана на коэффициент сепарации

Анализ результатов исследований, представленных на рисунке 4.12 показывает, что с увеличением частоты вращения вала привода решетного стана коэффициент сепарации при использовании базового механизма привода остается в пределах  $0,117...0,157 \text{ м}^{-1}$ , а в предложенном варианте он увеличивается от  $0,132$  до  $0,242 \text{ м}^{-1}$ . Исследованиями установлено, что использование предложенных технических решений при амплитудах 16 и 28 мм позволяет повысить коэффициент сепарации.

Использование предложенных технических решений позволяет повысить пропускную способность решет на  $12,8...54 \%$ . Совместное влияние выше указанных технических решений позволяет изменить характер движения зерносмеси по поверхности решета, улучшить равномерность распределения вороха на сепарирующих поверхностях, повысить степень взаимодействия частиц между собой, увеличить производительность.

### **Выводы по разделу**

Анализируя представленные исследования можно сделать следующие выводы:

1. Использование предложенного технического решения очистителя плоских решет в виде пружины (патент на полезную модель № 141156) позволяет повысить качество очистки отверстий решета и соответственно коэффициент сепарации на  $3...15,7 \%$ .

2. Разнонаправленные подвески решетного стана (патент на полезную модель № 135543) создают вертикальные и продольно-поперечные колебания зернового слоя, находящегося на решете, что увеличивает эффективность процесса сепарирования на  $6...39 \%$ . Экспериментально установлены зависимости коэффициента сепарации от частоты и амплитуды колебаний решетного стана при разнонаправленном наклоне подвесок.

3. Разработанная конструкция привода решетного стана зерноочистительной машины (патент на полезную модель № 142434) способствует увеличению эффективности разделения зерновой массы на решете

на 2,5...17 %, а также снижает инерционные нагрузки на машину.

4. Обоснованы рациональные параметры отражательной поверхности решетчатого стана зерноочистительной машины для варианта конструкции с очистителем в виде пружины. Оптимальная длина ячейки составляет 50 мм.

5. Исследованиями установлено, что при размере ячейки 160 мм значение коэффициента использования живого сечения решета для всех применяемых отражательных поверхностей находится в пределах 0,92...0,94, для ячейки длиной 50 мм максимальные значения коэффициента использования живого сечения решета составляют для шариковых очистителей 0,94...0,95, а для очистителей пружинного вида 0,97...0,98.

6. Проведенные исследования показали, что увеличение производительности зерноочистительной машины с 4 до 30 т/ч ведет к снижению коэффициента сепарации на 6...60 % независимо от режима работы и типа очистителя.

7. Совместное использование в зерноочистительной машине отражательной поверхности с продолговатыми отверстиями, имеющим радиус закругления 6,5 мм, и длиной ячейки 50 мм, с расположенными в них очистителями в виде пружин, при разнонаправленном наклоне подвесок, и предлагаемой конструкции привода позволяет увеличить коэффициент сепарации на 12,8...54 %.

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕТНОГО СТАНА

### 5.1. Общие положения методики расчета экономической эффективности модернизированного решетного стана зерноочистительной машины ОЗФ-80/40/20

По результатам проведенных исследований было установлено, что применение разработанных элементов конструкции решетного стана, таких как новая система подвески, контактный привод и очистители в виде пружины, позволят повысить его надежность работы, производительность и увеличить качество обработки зернового материала.

Целью экономического обоснования является определение экономической целесообразности применения предложенных технических решений по совершенствованию работы решетного стана [60].

В качестве объекта для сравнения выбрали промышленную машину, предназначенную для предварительной, первичной и вторичной очистки зернового вороха по фракционной технологии ОЗФ-80/40/20.

Для оценки годового экономического эффекта от модернизации решетного стана машины ОЗФ-80/40/20 в таблице 5.1 представлены основные исходные данные (цены действительны на 01.10.2015 г.).

Исследования рабочих показателей базовой зерноочистительной машины ОЗФ-80/40/20 в режиме первичной очистки, с производительностью 40 т/ч выход товарного зерна составил 75 %, фуража 25 %, а у экспериментального образца при производительности 45 т/ч – 88 % товарного зерна, 12 % фуража.

Таблица 5.1 – Исходные данные для экономической оценки проекта

Исходные показатели характеристики проекта	Базовый вариант	По проекту
1	2	3
Стоимость машины ОЗФ 80/40/20, руб.	1405000	1515500
Количество агрегатов	1	1

1	2	3
Срок эксплуатации проекта, лет	8	8
Продолжительность работ, дней	12	12
Годовая нормативная загрузка машины, ч	400	400
Производительность на первичной очистке, т/ч	40	45
Проектируемый объем очистки зерна, т	6528	7344
Выход продукта: продовольственное зерно, %	75	88
фуражное зерно, %	25	12
Выход продукта: продовольственное зерно, т	4896	6462
фуражное зерно, т	1632	881
Коэффициент использования времени смены	0,85	0,85
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Тарифная ставка оператора, руб./чел. - ч	115,5	115,5
Установленная мощность электродвигателя, кВт	14	14
Стоимость электроэнергии, руб./кВт - ч	5,5	5,5
Годовой фонд времени одного работника, чел. - ч	360	360
Себестоимость 1 т зерна, руб.	4250	4250
Цена продукции (зерно продовольственное), руб./т	7600	7600
Цена продукции (фураж), руб./т	6000	6000
Отчисления на реновацию, %	14,3	14,3
Отчисления на текущий ремонт и техническое обслуживание, %	10	10
Учетная годовая ставка процента по кредитам банка или вклада в банк, %	14	14
Продолжительность смены, ч	8	8
Количество смен работы предприятия в сутки	2	2

Для уборочных работ оптимальным является период 10...12 дней. В течение 12 дней при работе в две смены, очищено в процессе обработки зернового вороха будет следующее количество пшеницы:

$$Q=q \cdot t_c \cdot n_c \cdot n_d \cdot \tau, \text{ т}, \quad (5.1)$$

где  $q$  – производительность машины, т/ч;

$t_c$  – продолжительность смены, ч;

$n_c$  – количество смен;

$n_d$  – количество дней работы;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены,

При  $t_c = 8$  ч;  $n_c=2$ ;  $n_d = 12$ ;  $\tau = 0,85$  будет обработано зерна

базовый вариант

$$Q = 40 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 0,85 = 6528, \text{ т}$$

модернизированный вариант

$$Q = 45 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 0,85 = 7344, \text{ т}.$$

Для базового вариант, количество товарного зерна составит 4896 т и 1632 т фуражного зерна, а при использовании представленного варианта экспериментального образца – 6462 т товарного зерна, 881 т фуражного зерна.

Расчет затрат труда и фонда оплаты труда на выполнение работ по переработке сырья и смета затрат на выполнение операций представлены в таблице 5.2 [61].

Таблица 5.2. – Затраты труда и фонд оплаты труда, смета затрат и экономия эксплуатационных издержек

Показатели	Базовый вариант	По проекту
1	2	3
Количество работников, обслуживающих машины за две смены, чел.	2	2
Экономия труда		
Проектируемый объем очистки зерна, т	6528	7344
Время обработки зерна всего, ч	192,0	192,0
Затраты труда в расчете на 1 т сырья (на 1 т продукта), чел. - ч/т	0,029	0,026

1	2	3
Экономия труда, чел. - ч:		
- в расчете на 1 т сырья (на 1 т продукта)		0,006
- на весь объем продукта (за год)		44
Экономия фонда оплаты труда		
Время обработки зерна – всего, ч	192	192
Уровень оплаты труда с начислениями, руб./час.	115,50	115,50
Оплата труда за весь объем работ по обработке зерна, руб.	22176	22176
Оплата труда в расчете на 1 т сырья (на 1 т продукта), руб./т	3,40	3,02
Экономия фонда оплаты труда, руб.:		
- в расчете на 1 т сырья (на 1 т продукта)		0,38
- на весь объем продукта (за год)		2790
Смета затрат и экономия эксплуатационных издержек		
Затраты на сырье (зерно), руб.	27744000,0	31212000,0
Оплата труда с начислениями, руб.	22176,0	22176,0
Амортизация оборудования, руб.	200714,3	216500
Отчисления на ремонт и все виды ТО, руб.	140500,0	151550,0
Затраты на электроэнергию, руб.	9945,6	9945,6
Итого прямых затрат, руб.	28117336,9	31612171,6
Непредвиденные расходы (5% от прямых затрат), руб.	1405866,8	1580608,6
Всего прямых затрат, руб.	29523203,7	33192780,2
Накладные расходы (15% от всего прямых затрат), руб.	4428480,56	4978917,03
Всего производственных затрат, руб.	33951684,26	38171697,2
на 1 т продукции, руб.	5201	5197,7
Экономия производственных затрат		
на 1 т продукции, руб.		3,23
на всю продукцию, руб.		23736



Благодаря модернизированию решетного стана наблюдается экономия затрат труда на 44 чел. – ч и фонда оплаты труда - на 2790 руб.

Представленные в таблице 5.2 данные показывают, что модернизация решетного стана приводит к увеличению производственных затрат в целом, но с учетом роста объема переработки зернового материала возникает экономия затрат на тонну продукции в размере 3,23 руб., экономия производственных затрат на весь объем составит 23,74 тыс. руб.

## 5.2 Расчет годового экономического эффекта от модернизации решетного стана зерноочистительной машины

В соответствии с ГОСТ 23728-23730-88 [65] проведен расчет показателей экономической эффективности, который представлен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оценка инвестиционного эффекта по проекту

Показатели	Базовый вариант	По проекту
1	2	3
Всего текущих затрат, тыс. руб.	33951,7	38171,7
Валовая продукция за год, т		
продовольственное зерно	4896	6462
фуражное зерно и отходы	1632	881
Цена продукции, тыс. руб./т без НДС:		
продовольственное зерно	7,6	7,6
фуражное зерно	6	6
Стоимость собственной продукции, тыс. руб.	47001,6	54397,2
Прибыль, тыс. руб.	13049,9	16226,7
Налоги, тыс. руб.	3262,5	4056,7
Чистая прибыль, тыс. руб.	9787,4	12170
Уровень рентабельности, % по чистой прибыли	28,8	31,88
Расчет инвестиционного эффекта за год		
Чистая прибыль, тыс. руб.	9787,4	12170

1	2	3
Дополнительная чистая прибыль, тыс. руб.		2382,6
Амортизация дополнительных капитальных вложений, тыс. руб.		16
Инвестиционный эффект, тыс. руб.:		2398,6

Представленные в таблице 5.3 данные показывают, что в варианте по проекту получена дополнительная прибыль в размере 2382,6 тыс. руб., рентабельность производства по чистой прибыли увеличивается на 3,08 %, инвестиционный эффект от внедрения машины с модернизированным решетным станом составит 2398,6 тыс. руб.

Годовую экономию прямых эксплуатационных затрат определяем по формуле

$$\Delta И = (A_6 - A_9 + R_6 - R_9 + \Gamma_6 - \Gamma_9) \cdot Q \cdot t, \text{ руб.} \quad (5.2)$$

Годовая экономия прямых эксплуатационных издержек в проектном варианте составит 23,74 тыс. руб.

Годовой экономический эффект с учетом повышения производительности машины составит 2398,6 тыс. руб.

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E} + \Delta И, \text{ руб.} \quad (5.3)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определим по формуле

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_o \cdot NS}{\mathcal{E}_z}\right)}{\ln(1 + NS)}, \quad (5.4)$$

где  $K_o$  – дополнительные капитальные вложения;

$NS$  – коэффициент, отражающий учетную годовую ставку процента по кредитам банка или вкладу в банк ( $NS = 0,14$ ).

$K_0 = 110500$  руб.

Экономический эффект за срок службы зерноочистительной машины определим по формуле сложных процентов:

$$K_m = \mathcal{E}_z \cdot \frac{(1 + NS)^T - 1}{NS}, \quad (5.5)$$

где  $T$  - срок службы зерноочистительной машины, лет;

$$K_m = 31740 \text{ тыс. руб.}$$

Годовой коэффициент эффективности капитальных вложений, показывающий среднюю годовую относительную величину прироста суммы экономического эффекта, определяем по формуле

$$E_t = \left( \frac{K_m}{K_0} \right)^{1/T} - 1 \quad (5.6)$$

Данные сравнительных показателей экономической эффективности от использования модернизированной машины представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Сравнительные показатели эффективности использования модернизированной машины ОЗФ-80/40/20

Показатели	Базовый вариант	По проекту
1	2	3
Проектируемый объем очистки зерна, т	6528	7344
Затраты труда в расчете на 1 т сырья (на 1 т продукта), чел. - ч/т	0,029	0,026
Экономия труда, чел. - ч:		
- в расчете на 1 т сырья (на 1 т продукта)		0,006
- на весь объем продукта (за год)		44
Экономия фонда оплаты труда, руб.:		

- в расчете на 1 т сырья (на 1 т продукта)		0,38
- на весь объем продукта (за год)		2790
Дополнительная чистая прибыль, тыс. руб.		2382,6
Инвестиционный эффект, тыс. руб.:		2398,6
Эффект за срок эксплуатации, тыс. руб.		31740
Цена спроса на ресурсы для реализации проекта, тыс. руб.		11126,7
Коэффициент эффективности вложений		0,80
Срок окупаемости вложений, лет		0,38

Представленные расчеты по определению эффективности проекта показали, что использование модернизированной конструкции решетного стана является экономически целесообразным. Внедрение предложенного технического решения за счет повышения производительности оборудования, сокращения количества фуражного зерна и роста объема продовольственного зерна позволит получить годовой экономический эффект в размере 2398,6 тыс. руб.

За срок эксплуатации проектной зерноочистительной машины, величина экономического эффекта составит 31740 тыс. руб. Ставка банковского процента существенно ниже значения годового коэффициента эффективности капитальных вложений  $[(NS=0,14) < (E_t = 0,802)]$ . Использование предложенной зерноочистительной машины с модернизированным решетным станом окупиться менее чем за год ее эксплуатации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование предложенного технического решения очистителя плоских решет в виде пружины (патент на полезную модель № 141156) позволяет повысить качество очистки отверстий решета и соответственно коэффициент сепарации на 3...15,7 %.

2. Разнонаправленные подвески решетного стана (патент на полезную модель № 135543) создают вертикальные и продольно-поперечные колебания зернового слоя, находящегося на решете, что увеличивает эффективность процесса сепарирования на 6...39 %. Экспериментально установлены зависимости коэффициента сепарации от частоты и амплитуды колебаний решетного стана при разнонаправленном наклоне подвесок.

3. Разработанная конструкция привода решетного стана зерноочистительной машины (патент на полезную модель № 142434) способствует увеличению эффективности разделения зерновой массы на решете на 2,5...17 %, а также снижает инерционные нагрузки на машину.

4. Разработана математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, позволяющая определить конструктивные и режимные параметры, описывающие движение очистителя по циклам при использовании дополнительных направляющих на отражательной поверхности.

5. Обоснованы аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана зерноочистительной машины, которые позволяют принимать жесткость пружины в разработанном механизме привода из соотношения:  $c = m \cdot \omega^2$ .

6. Обоснованы рациональные параметры отражательной поверхности решетного стана зерноочистительной машины для варианта конструкции с очистителем в виде пружины. Оптимальная длина ячейки составляет 50 мм.

7. Исследованиями установлено, что при размере ячейки 160 мм значение коэффициента использования живого сечения решета для всех применяемых отражательных поверхностей находится в пределах 0,92...0,94, для ячейки длиной

50 мм максимальные значения коэффициента использования живого сечения решета составляют для шариковых очистителей 0,94...0,95, а для очистителей пружинного вида 0,97...0,98.

8. Проведенные исследования показали, что увеличение производительности зерноочистительной машины с 4 до 30 т/ч ведет к снижению коэффициента сепарации на 6...60 % независимо от режима работы и типа очистителя.

9. Совместное использование в зерноочистительной машине отражательной поверхности с продолговатыми отверстиями, имеющим радиус закругления 6,5 мм, и длиной ячейки 50 мм, с расположенными в них очистителями в виде пружин, при разнонаправленном наклоне подвесок, и предлагаемой конструкции привода позволяет увеличить коэффициент сепарации на 12,8...54 %.

10. Годовая экономическая эффективность от использования заявленных конструктивных решений в зерноочистительной машине типа ОЗФ-80 составит 2398,6 тыс. руб. при сроке окупаемости 0,4 года.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.с. 1059107 СССР В 07 В 1/50. Механизм очистки решётных полотен зерноочистительных машин с колебательным движением решётного стана / А.И. Завгородний, Н.И. Шакин. – № 4058803/03; Заявлено 10.11.91; Опубл. 15.04.93, Бюл. № 14.
2. А. с. № 1274781 СССР, МКИ В 07 В 1/28 Решётный стан / А. А. Лопан, Х.Х. Гималов, В.В. Неволин, В.Г. Чумаков (СССР). – № 3858072/28–13 ; заяв. от 19.02.85 ; опубл. 07.12.86, Бюл. № 45.
3. А.с. 1360821 СССР В 07 В 1/54. Очиститель плоских решёт / А.И. Завгородний, А.В. Богомолов, Н.И. Шакин, СМ. Дюндик, А.П. Заика, А.П. Горбанев. – № 4892964/03; Заявлено 25.12.90; Опубл. 23.05.93, Бюл. № 19.
4. А.с. № 1435192 СССР, МКИЗ А 01 F12/44. Сепаратор зернового вороха /Ломакин С.Г., Бердышев В.Е. (СССР). –424624/30–15; Заявл. 18.05.87; Опубл. 07.11.88, Бюл.№ 34. – 2 с.
5. А.с. № 1435321 СССР, МКИ В 07 В 1/28 Решётный стан / А.А. Лопан, А.С. Архипов, Х.Х. Гималов, В.Г. Чумаков (СССР). – № 4014824/29–03 ; заяв. от 30.01.86 ; опубл. 07.11.88, Бюл. № 41.
6. А.с. 1609120 СССР В 07 В 1/50. Щёточный очиститель плоских решёт / А.И. Завгородний, С.М. Дюндик, А.П. Горбанев и А.А. Андрейченко. – № 4936157/03; Заявлено 14.05.91; Опубл. 15.04.93, Бюл. № 14.
7. А.с. 1630860 СССР, МКИЗ В07В 1/46, А 01 F 12/44. Подвеска решетного стана зерноочистительной машины / В.С. Быков, А.П. Тарасенко, М.В. Кольцов, Н.Д. Белый, В.Т. Сироткин (СССР).– № 4488167/15; Заявл. 15.08.88.; Опубл. 1.11.90, Бюл. № 8.–2 с.
8. А.с. 1659127 СССР МКИ В 07 В 1/12. Устройство для просеивания сыпучего материала / В.М. Дринча, А.П. Орехов, СК.Миронюк, Е.И. Кучер, И.Ю. Ильичев. – № 4758843/03; Заявлено 15.11.89; Опубл. 15.04.92, Бюл. № 14.
9. А.с. № 1680366 СССР, В07В1/28. Решетный стан / А.А. Лопан, А.В. Фоминых, Ю.Н. Мекшун, И.В. Шевцов (СССР). – № 4656876/03; Заявлено

01.03.89; Оpubл. 30.09.91. – Бюл. № 36.

10. А.с. 1708438 СССР, МКИЗ В07В 1/38. Плоскорешетный сепаратор / В.С. Быков, А.П. Тарасенко, М.В. Кольцов, Н.Д. Белый (СССР).– № 4777858/03; Заявл. 27.11.89.; Оpubл. 1.10.91., Бюл. № 4.–3 с.

11. А.с. 1720750 СССР В 07 В 1/28. Очиститель плоских решёт / А.И. Завгородний, А.А. Андрейченко, В.А. Сметанкин, Н.И. Шакин. – № 4841063/03; Заявлено 21.06.90; Оpubл. 23.03.92, Бюл. № 11.

12. А.с. 1755944 СССР В 07 В 1/50. Устройство для очистки решёт / А.И. Завгородний. – № 4834210/03; Заявлено 05.06.90; Оpubл. 23.08.92, Бюл. № 31.

13. А.с. 1755945 СССР В 07 В 1/28. Способ очистки решёт и устройство для его осуществления / А.И. Завгородний, Н.И. Шакин и А.А. Андрейченко . № 4840059/03; Заявлено 21.06.90; Оpubл. 23.08.92, Бюл. № 31.

14. А.с. 2054976 СССР В 07 В 1/50. Механизм очистки плоских решёт в зерноочистительных машинах / В.Д. Олейников. – № 92002261/03; Заявлено 26.10.92; Оpubл. 27.02.96, Бюл. № 6.

15. А.с. 405607 СССР В 07 В 1/54. Очиститель сита / С.Н. Брасалин, В.В. Вашкевич, О.М.Фомичева. – № 4808482/03; Заявлено 02.04.90; Оpubл. 30.03.92 , Бюл. № 12.

16. А.с. 425667 СССР В 07 В 1/50. Механизм очистки решёт зерноочистительных машин с колебательным движением решётного стана / А.И. Завгородний. А.А. Андрейченко, Н.И. Шакин. – № 4811250/03; Заявлено 21.06.90; Оpubл. 23.03.92, Бюл. № 11.

17. А.с. 443689 СССР В 07 В 1/52. Очиститель сит / С.Н. Брасалин, В.В. Вашкевич, Т.Ю. Земзюлина, И.И. Семина. – № 4646189/03; Заявлено 06.02.89; Оpubл. 15.04.91, Бюл. № 14.

18. А.с. 454937 СССР МКИ В 07 В 1/121973. Шариковый очиститель решёт / А.И. Завгородний; А.П. Заика; Н.И. Шакин. – № 4916294/03; Заявлено 01.03.91; Оpubл. 15.06.94, Бюл. No 11.



19. А.с. 531557 СССР МКИ В 07 В 1/40. Шариковый очиститель плоских решёт / А.И. Завгородний; А.П. Заика; Н.И. Шакин. – № 4916295/03; Заявлено 01.03.91; Оpubл. 15.06.94, Бюл. № 11.
20. А.с. 614771 СССР А 01 F 12/44. Механизм очистки решётных полотен зерноочистительных машин / П.Н.Лапшин, А.И. Климок, Г.И. Аносов, Ю.А. Бахарев и А.К.Туров. – № 4767588/15; Заявлено 03.10.89; Оpubл. 23.03.92, Бюл. № 11.
21. А.с. 810303 СССР МКИ В 07 В 1/46. Устройство для очистки отверстий / А.М. Корн, Ю.А. Космовский, А.С. Матвеев, Ю.Ф. Некипелов. – № 3496496/29–03; Заявлено 04.10.82; Оpubл. 07.02.84, Бюл. № 5.
22. А.с. 994051 СССР В 07 В 1/52. Способ разделения зерновых материалов по крупности и устройство для его осуществления / А.И. Завгородний; СМ. Дюндик; А.Л. Горбачев; А.А. Андрейченко. – № 4934433/03; Заявлено 14.05.81; Оpubл. 30.06.84, Бюл. № 12.
23. Ашмарин, И.П. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов / И.П. Ашмарин, Н.Н. Васильев, В.А. Амбросов. – Л., 1975. – 78 с.
24. Бабченко, В.Д. Анализ развития технологий и технических средств очистки зерна и семян / В.Д. Бабченко, А.С. Матвеев // Сб. науч. тр. / ВИМ. – 1987. – Т. 115. – С. 18-24.
25. Бардышев, Г.М. Сепараторщик / Г.М. Бардышев / Москва.: Колос, – 1970. – 70 с.
26. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научные аспекты: Продовольственная безопасность. Раздел 1. – М. : Знание, 2000. – 544 с.
27. Борискин, М.А. Механизмы очистки решет зерновых сепараторов / М.А. Борискин, А.Б. Демский, Е.П. Крюков // Труды ВНИЭКИ продмаш: сб. науч. Тр. / ВНИЭКИ продмаш. – М., 1970. – Вып. 21(5). – С. 41-48.
28. Бушуев, Н.М. Семяочистительные машины. Теория, конструкция и расчет / Н.М. Бушуев. – М.: Машиностроение, 1962. – 328 с.

29. Быков, В.С. Аналитическая кинематика качающегося решета / В.С. Быков // Воронеж, гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 1995 – С. 17.
30. Быков, В.С. Влияние длины подвесок на работу плоского решета / В.С. Быков // Техника в с.-х. – 1995. – № 1. – С. 29-30.
31. Быков, В.С. Интенсификация процесса плоскорешетной сепарации за счет высокочастотных вибраций / В.С. Быков // Совершенствование технологий и технических средств для механизации процессов в растениеводстве-Воронеж, – 1994 – С. 52-60.
32. Быков, В.С. Интенсификация процесса сепарации зерновых смесей на плоских качающихся решетах: Диссертация к. т. н.: 05.20.01 / В.С. Быков – Воронеж, 1991. – 230 с.
33. Быков, В.С. Интенсификация процесса сепарации на плоских решетах / В.С. Быков // Сб. науч. тр. ВГАУ. – Воронеж, 1990. – С. 59-65.
34. Быков, В.С. Кинематические параметры качающихся рабочих органов / Воронеж. гос. лесотехн. акад.- Воронеж, 1997 – 40 с.
35. Быков, В.С., Критическая скорость частиц в слое / В.С. Быков, А.П. Тарасенко // Совершенствование технологий и технических средств для механизации процессов в растениеводстве. – Воронеж, 1994 – С. 60-68.
36. Быков, В.С. Некоторые динамические характеристики механизма качающегося решета / В.С. Быков // Техника в с.-х. – 1997 № 3 – С. 35-36.
37. Быков, В.С. Обоснование конструктивных параметров плоскорешетных зерноочистительных машин / В.С. Быков // Механизация и электрификация с.-х.- 1996 № 9 – С. 31-32.
38. Быков, В.С. Определение кинематических параметров решета / В.С. Быков // Техника в с.-х. – 1997. – №5. – С. 16-18.
39. Быков, В.С. Повышение производительности плоских решет / В.С. Быков // Механизация и электрификация с.-х. – 1991 – № 1. – С. 58-59.
40. Быков, В.С. Повышение производительности плоских решет / В.С. Быков // Воронеж, гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 1996 – 97 с.

41. Быков, В. С. Повышение эффективности процесса сепарирования зерновых смесей на плоских качающихся решетках [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 : защищена 1999 / В. С. Быков. – Воронеж, 1999. – 359 с.
42. Быков, В.С. Стенд для исследования процесса сепарации / В.С. Быков // Методы и средства научных исследований процессов механизации с.х. – Воронеж, 1996. – С. 82-87.
43. Быков, В.С. Теория процесса сепарирования сыпучих смесей на плоских качающихся решетках / В.С. Быков // ВГЛТА – Воронеж, 1996. – С. 244.
44. Быков, В.С. Увеличение производительности плоскорешетных сепараторов / В.С. Быков // Воронеж, гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 1996 – С. 46.
45. Вахнина, Г.Н. Результаты испытаний новых подвесок решетного стана плоскорешетного сепаратора для лесных семян [Текст] / Г.Н. Вахнина // Леса России в XXI веке [Текст]: Материалы третьей международной научно-практической интернет-конференции. Апрель 2010 г. / под ред. авторов; Фед. агентство по образованию ГОУ ВПО «Санкт-Петербургская лесотехническая академия им. С.М. Кирова». – Санкт-Петербург, 2010. – С. 240-243.
46. Вахнина, Г.Н. Теоретические исследования законов движения семян в процессе сортирования [Текст] / Г. Н. Вахнина; ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2010. – 16 с.
47. Вахнина, Г.Н. Экспериментальные исследования сортирования лесных семян на решетном стане с новой конструкцией подвески [Текст] / Г.Н. Вахнина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2010. – Вып. 5. – С. 106-108.
48. Волошин, Н.И. Оптимизация периодичности очистки решёт зерноочистительных машин / Н.И Волошин. Техника в с/х. – 1993, №4. – С. 14-15.
49. Воронов, И.Г. Очистка и сортировка семян / И.Г. Воронов. – М.: Госизд. с/х лит, 1959. – 305 с.
50. Выбор параметров шариковой очистки решет / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, В.В. Шередекин, И.С. Масленников // Тракторы и с.-х. машины. – 2006. – № 3. – С. 34-35.

51. Галкин, А.Д. Повышение эффективности функционирования технологических систем и технических средств для послеуборочной обработки семенного и фуражного зерна в условиях Среднего Урала за счет оптимизации их структуры, параметров и режимов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.Д. Галкин. – СПб. ; Пушкин, 1999. – 57 с.

52. Галкин, В.Д. Параметры и режимы работы усовершенствованного вибропневмосепаратора семян / В.Д. Галкин, К.А. Грубов // Аграрная наука Северо-Востока. – Киров, 2011. № 2. С. 67-70.

53. Галкин, В.Д. Вибропневмосепаратор для подготовки семян / В.Д. Галкин, К.А. Грубов // Сельский механизатор. – М., 2010. № 2. С. 15.

54. Гармаш, Н.Т. Теоретические основы одного из видов безрешетной сепарации мелкого зернового вороха. Сельхозмашины / Н.Т. Гармаш. – М., 1956, № 12, – С. 4-8

55. Гладков, Н.Г. Зерноочистительные машины / Н.Г. Гладков. – М.: Машгиз, 1961. – 328 с.

56. Голик, М.Г. Поточные методы обработки зерна на приемных пунктах / М.Г. Голик // под ред. П.В. Арзамасцева. – М.: Хлебоиздат, 1958. – 72 с.

57. Гончаров, И.С. Относительная производительность решет / И.С. Гончаров // Тр. ВИМ. «Совершенствование послеуборочной обработки и хранения зерна в колхозах и совхозах», – М., 1984, – С. 63-68.

58. Гончаров, Е.С. О характере движения материальной частицы в подвижной воздушной среде. Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – Киев, 1966, – вып.2, – С. 122-132.

59. Гордеев, А.В. Продовольственное обеспечение России. Вопросы теории и практики / А. В. Гордеев. – М.: Колос, – 1999. – 225 с.

60. Горланов, С.А. Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов студентов инженерных факультетов / С.А. Горланов, Н.Т. Назаренко, Е.В. Злобин. – Воронеж : ВГАУ, 2000. – 37 с.

61. Горланов, С.А. Экономическая оценка проектных разработок в АПК : учеб. – метод. пособие. Ч. 1. Методические указания / С.А. Горланов, Е.В. Злобин. – Воронеж : ВГАУ, 2002. – 66 с.
62. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
63. ГОСТ 12036-85. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб. – Переизд. с изм. №2 взамен ГОСТ 12036-66; введ. 01.07.86 до 01.07.96 // Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества. Ч.2. – М., 1991. – С. 3-7.
64. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести, введ. 1986.07.01. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 62 с.
65. ГОСТ 23728-88 – 23730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Взамен ГОСТ 23728-79: введ. 01.01.79. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.
66. ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. введ. 2006.01.01. – М.: Изд- стандартов, 2005.– 24 с.
67. Двухаспирационные зерноочистительные машины / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, В.В. Шередекин, А.М. Гиевский, А.А. Мухортов, А.С. Бузулукин, И. С. Масленников // Техника и оборудование для села. – 2006. – № 8. – С. 20-22.
68. Дубровский, А.А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве / А.А. Дубровский. – М.: Колос, 1968 – 200 с.
69. Дымченко, Н.Д., Ветрорешетная очистка повышенной пропускной способности / Н.Д. Дымченко, Н. Золотко // Техника в сельском хозяйстве. – М., 1970, № 5, – С. 72-74.
70. Емельянчик, Н.П. К вопросу об очистке сит в отсевах / Н.П. Емельянчик // Труды ВНИИЗ, № 53 – 1964. – С. 77-81.

71. Егоров, Г.А. Технология и оборудование мукомольно-крупяного и комбикормового производства / Г.А. Егоров, Г.М. Мельников, В.Ф. Журавлев. – М.: Колос, 1979. – 368 с.
72. Ерохин, М.Н. Проектирование и расчёт подъёмно-транспортирующих машин сельскохозяйственного назначения / М.Н. Ерохин, А.В. Карп. – М.: Колос, 1999. – 228 с.
73. Желтов, В.С. Механизация послеуборочной обработки зерна: справочник / В.С. Желтов, Г.Н. Павлихин, В.М. Соловьев. – М.: Колос, 1973. – 265 с.
74. Завгородний, А.И. О влиянии рабочих органов очистителей на пропускную способность решёт // Технология производства и конструирование сельскохозяйственных машин / А.И. Завгородний, СМ. Дюндик, В.А. Романов. – Харьков, 1997. – С. 70 – 78.
75. Заика, П.М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин / П.М. Заика. – М.: Машиностроение, 1977. – 277 с.
76. Заика, П.М. К исследованию процесса забиваемости решёт / П.М. Заика, В.Ф. Ридный, А.В. Миняйло // Применение новейших математических методов и вычислительной техники в решении инженерных задач – Сб.научн.тр. Том 15, в. 10, Минск – 1978. – С. 79-84.
77. Захарченко, И.В. Послеуборочная обработка семян в Нечерноземной зоне / И.В. Захарченко. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 263 с.
78. Зюлин, А.Н. «Русское чудо» в очистке зерна / А. Н. Зюлин [и др.] // Зерновые культуры. – 1999. – № 6. – С. 8-9.
79. Зюлин, А.Н. Теоретические проблемы развития технологий сепарирования зерна / А.Н. Зюлин. – М.: ВИМ, 1992. – 208 с.
80. Карабанов, С.А. Поточная обработка зерна / С.А. Карабанов. – М.: Заготиздат, 1963. – 120 с.
81. Карлов, М.Е. Исследование устройств для очистки решет зерноочистительных машин / М.Е. Карлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1962. – № 2. – С. 22-25.

82. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпенко, А.А. Зеленов, В.М. Халанский. – М.: Колос, 1975. – 376 с.
83. Карпов, Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна / Б.А. Карпов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 289 с.
84. Кацева, Р.З. Работа решет при неравномерной загрузке по ширине / Р.З. Кацева // Сб. научн. тр. ЧИМЭСХ. «Интенсификация процессов послеуборочной обработки зерна», – Челябинск, 1975, вып.103, – С. 22-28
85. К вопросу повышения эффективности работы механизма очистки решет / А.С. Корнев, В.И. Оробинский, В.П. Шацкий, А.А. Сундеев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2015. – № 2(45). – С. 65-71.
86. Климок, А.И. Исследование процесса сепарации на решетках с профилированной рабочей поверхностью.: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1981, – 17 с.
87. Кожуховский, И.Е. Зерноочистительные машины / И.Е. Кожуховский. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
88. Козаченко, А.В. Оценка технологической эффективности и резерва усовершенствования рабочих органов очистителей решёт / А.В. Козаченко, А.И. Завгородний, СМ. Дюндик // Технология производства и конструирование сельскохозяйственных машин. – Харьков, 1997. – С. 78-83.
89. Концепция развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства Северо-Восточного региона европейской части России на 2002...2010 гг. / Сысуев В.А. [и др.]. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2002. – 136 с.
90. Корнев, А.С. Влияние типа отражательной поверхности и размеров разделительной ячейки на качество очистки решет / А.С. Корнев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2015. – № 1(44). – С. 53-57.
91. Корнев, А.С. Интенсификация процесса сепарирования на плоских решетках / А.С. Корнев, // Сборник докладов конференции «Инновационные

технологии на базе фундаментальных научных разработок – прорыв в будущее»: Воронеж: Воронежский ЦНТИ, 2013. – С. 21-23.

92. Корнев, А.С. К вопросу повышения эффективности работы плоских решет / А.С. Корнев, В.И. Оробинский // Инновационные технологии и технические средства для АПК: мат. науч. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – С. 9-13.

93. Корнев, А.С. Повышение производительности решетных станов зерноочистительных машин / А.С. Корнев, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев // Современные тенденции развития технологий и технических средств для АПК: мат. науч. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по актуальным проблемам АПК в области механизации, эл-ции с./х. и пере-раб. С./х. продукции. / Колл. Авторы. – Воронеж: ФГБОУ Воронежский ГАУ, 2014. – С. 6-8.

94. Корнев, А.С. Повышение эффективности работы плоских решет, решетных станов зерноочистительных машин / А.С. Корнев, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев // Инновационные технологии и технические средства для АПК. – 2014. – часть III. – С. 84-89.

95. Корнев, А.С. Совершенствование процесса очистки плоских решет решетных станов зерноочистительных машин / А.С. Корнев // Сборник докладов конференции «Инновационные технологии на базе фундаментальных научных разработок – прорыв в будущее»: Воронеж: Воронежский ЦНТИ, 2014. – С. 15-17.

96. Косилов, Н.И. Пути совершенствования технологий и технических средств для предварительной очистки зерна в хозяйствах / Н.И. Косилов. – Челябинск, 1985, – 52 с.

97. Косилов, Н.И. Состояние и тенденции развития зерноуборочных машин / Н.И. Косилов. – Челябинск: Изд-во ЧИМЭСХ, 1983, – 100 с.

98. Кряжков, В.М. Инженерные основы современных технологий в механизации растениеводства АПК / В.М. Кряжков // Науч.-техн. прогресс в инж.-



техн. сфере АПК России : материалы науч.-практ. конф., 25 – 26 окт. 1994 г. / ГОСНИТИ. – М., 1995. – С. 42 – 47.

99. Кубышев, В.А. Задачи инженерной аграрной науки в обеспечении Продовольственной программы СССР/ В.А. Кубышев // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1982. – № 7. – С. 2-4.

100. Лебедев, В.Б. Обработка и хранение семян / В.Б. Лебедев. – М.: Колос, 1983. – 203 с.

101. Лопан, А.А. Обоснование и разработка решетных полотен проволочно-сварной конструкции [текст] / А.А. Лопан, Ю.Н. Мекшун, И.В. Шевцов // Материалы научно-технического совета агропромышленного комитета РСФСР. – Курган – 1990. – С. 13 – 28.

102. Машины для послеуборочной обработки семян / под общ. ред. З.Л. Тица. – М. : Машиностроение, 1967. – 447 с.

103. Машины для уборки и обработки зерновых культур. Теория, конструкция, расчет / И.Н. Гуров, Н.И. Кленин, И.Ф. Попов, И.И. Смирнов. – М. : Машиностроение, 1964. – 512 с.

104. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – 2-е, изд. перераб. и доп. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

105. Механизация процесса разделения грубого вороха / Д.И. Белый, В.И. Резниченко, Ю.М. Помогаев, М.В. Никонов, В.И. Оробинский // Тр. / ВГАУ. «Безотходная технология производства семян люцерны», – Воронеж, 1989, – С.26-32.

106. Науменко, А.М. Теоретические предпосылки к анализу процесса очистки сит шариками / А.М. Науменко // Техника и технологии хранения и переработки зерна: сб. науч. Тр. / ВНИИЗ. – М., 1975. – Вып. 81. – С. 114-119.

107. Обоснование режимных параметров очистки решет призмами /А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, В.В. Шередекин, А.С. Бузулукин // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2005. - № 12. – С.7-8.

108. Оплетаев, С.И. Реконструкция зерноочистительных агрегатов / С.И. Оплетаев, В.Г. Чумаков, Ю.Н. Мекшун, И.В. Шевцов // Сельский механизатор. – 2006. – № 10. – С. 40.

109. Оробинский, В.И. Влияние микроорганизмов и срока хранения на посевные качества семян / В.И. Оробинский // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2006. – № 11. – С. 5-6.

110. Оробинский, В.И. Влияние режимов работы решетного стана зерноочистительной машины на эффективность сепарации / В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, А.С. Корнев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3(38). – С. 72-74.

111. Оробинский, В.И. Влияние конструкции привода решетного стана на эффективность сепарации зерна / В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, А.С. Корнев // Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК [Текст]: межвуз. сб. нач. тр. – ВГАУ. – Воронеж, 2014. – С. 63-66.

112. Оробинский, В.И. Результаты испытаний зерноочистительных машин семейства ОЗФ / В.И. Оробинский // Вестн. Воронеж. гос. аграр. ун-та. – 2006. – № 12. – С. 152-160.

113. Оробинский, В.И. Совершенствование технологии послеуборочной обработки семян фракционированием и технических средств для ее реализации: дис. д-ра с./х. наук / В.И. Оробинский; Воронеж ВГАУ. – Воронеж, 2007. – 334 с.

114. Оробинский, В.И. Теоретические предпосылки выделения биологически неполноценного зерна при послеуборочной обработке / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // Вестн. Воронеж. гос. аграр. ун-та. – 2006. – № 12. – С. 161-174.

115. Оробинский, В.И. Фракционирование зернового вороха и качество семян / В.И. Оробинский // Тракторы и с.-х. машины. – 2006.- № 10. – С. 29-30.

116. Пат. № 135543 Российская Федерация, МПК В 07В 1/46. Решетный стан зерноочистительной машины / Сундеев А.А., Гиевский А.М, Тарасенко А.П. Оробинский В.И., Корнев А.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский

государственный аграрный университет. № 2012105740/03; заявл. 17.02.2012; опубл. 20.12.13, Бюл. № 35. – 7 с.

117. Пат. № 139851 Российская Федерация, МПК В 07 В 1/12; В 02 В 1/02. Решето для решетного стана зерноочистительной машины / Сундеев А.А., Оробинский В.И., Корнев А.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2013146889/13; заявл. 21.10.2013; опубл. 27.04.14, Бюл. № 12. – 6 с.

118. Пат. № 141156 Российская Федерация, МПК В 07 В 1/54. Очиститель плоских решет / Сундеев А.А., Оробинский В.И., Корнев А.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2013153596/03; заявл. 03.12.2013; опубл. 27.05.14, Бюл. № 15. – 6 с

119. Пат. № 142434 Российская Федерация, МПК А 01 F 12/44, Решетный стан [Текст] / Сундеев А.А., Оробинский В.И., Корнев А.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронежский государственный аграрный университет. – №2013157638/13; заявл. 24.12.13; опубл. 27.06.14, Бюл. № 18. – 3 с.

120. Пат. № 151995 Российская Федерация, МПК А 01 F 12/44; Решетный стан / Сундеев А.А., Оробинский В.И., Корнев А.С., Пахомов А.Ю.: заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2014147545/13; заявл. 25.11.2014; опубл. 27.04.15, Бюл. № 12 – 6 с.

121. Пат. № 2344004 Российская Федерация, МПК В 07 В9/02 Сепаратор зерновой / А.С. Архипов, О.Р. Глухих, В.Г. Чумаков; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО КГСА имени Т.С. Мальцева. – № 2007119858/03 ; заявл. 28.05.07 ; опубл. 20.01.09, Бюл. № 2.

122. Пат. № 2363553, МПК В07В 1/46. Подвеска решетного стана семяочистительной машины [Текст]: В.С. Быков, Л.Т. Свиридов, Г.Н. Вахнина, В.В. Ткачев, Р.С. Ермолов; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2008108874/03 ; заявл. 06.03.2008 ; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22 – 4 с.

123. Пат. № 2372998, МПК В07В 1/46. Многоуровневая подвеска решетного стана семеочистительной машины [Текст]: В.С.Быков, Л.Т. Свиридов, Г.Н.

Вахнина, В.В.Ткачев, Р.С.Ермолов; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2008118942/03; заявл. 13.05.2008; опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32. – 4 с.

124. Пат. 2458750 Российская Федерация, МПК В 07 В11/06. Приемно-распределительное устройство зерноочистительной машины / Сундеев А.А., Гиевский А.М, Тарасенко А.П. Оробинский В.И., Степанова А.А.: заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2011108607/03; заявл. 04.03.2011; опубл. 20.08.11, Бюл. № 23. – 7 с.

125. Пат. 2516873 Российская Федерация, МПК В 65 G 69/00; 65/32; 11/20; 53/56. Делитель потока сыпучего материала / Сундеев А.А., Востриков П.С., Воронин В.В., Корнев А.С.: заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2012151108/11; заявл. 28.11.2012; опубл. 20.05.14, Бюл. № 14. – 6 с.

126. Пат. №78445, МПК В07В 1/46. Ступенчатая подвеска решетного стана семяочистительной машины [Текст]: В.С. Быков, Г.Н. Вахнина, В.В. Ткачев, Р.С. Ермолов; заявитель и патентообладатель ВГЛТА.- №2008118564/22 ; опубл. 27.11.2008,

127. Пат. № 84746, МПК В07В 1/46. Универсальная подвеска решетного стана семяочистительной машины [Текст]: В.С. Быков, Г.Н. Вахнина; заявитель и патентообладатель ВГЛТА.-№ 2009111821/22; опубл. 20.07.2009

128. Перевозчик, Ф.Н. Приспособление для изготовления резиновых очистителей сит / Ф.Н. Перевозчик // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. – 1979. – № 3. – С. 36.

129. Повышение эффективности работы семяочистительных линий для подготовки элитных семян / В.Д. Галкин [и др.] - В сборнике: Инновационные научные решения - основа модернизации аграрной экономики материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции. 2011. С. 10-16.

130. Ридный, В.Ф. Влияние работы шариковых и щеточных очистителей на содержание полноценных зерен в проходе подсевных и сортировальных решет / В.Ф. Ридный, Н.В. Бакум, А.В. Богомоллов // Совершенствование рабочих органов

сельскохозяйственных машин: сб. науч. Тр. / МИИСП. – М., 1976. – Вып. 1. – С. 89-94.

131. Ридный, В.Ф. К определению шага прутков отражательной поверхности шариковых очистителей решет / В.Ф. Ридный, // Сельскохозяйственные машины: сб. науч. Тр. / МИИСП. – М., 1974 г. – Вып. 85. – С. 133-137.

132. Ридный, В.Ф. Шариковый очиститель вибрационной машины с винтовым колебанием решетного стана / В.Ф. Ридный, Н.В. Бакум // Совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин: сб. науч. Тр. / МИИСП.– М., 1977 г.– Вып. 2. – С. 44-49.

133. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

134. Свиридов, Л.Т. Сортирование лесных семян / Л.Т. Свиридов. – Воронеж, 2002. – 297 с.

135. Свиридов, Л.Т. Теоретические исследования движения рабочего органа плоскорешетного сепаратора с новой конструкцией подвесок решетного стана / Л.Т. Свиридов, Г.Н. Вахнина // депонированная рукопись № 372-И2010, 17.06.2010.

136. Совершенствование конструкции шариковой очистки решет / В.И. Оробинский, А.Ю. Черемисинов, А.А. Сундеев, А.С. Корнев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. № 2(33). – 2012. – С. 126-128.

137. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский и др. // рекомендации. – Москва.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 60 с.

138. Справочник по оборудованию зерноперерабатывающих предприятий / А.Б. Демский, М.А. Борискин, Е.В. Тамаров, Ш.С. Камалетдинов, А.С. Чернолихов. – Москва. – Колос., 1970. – 425с.

139. Строна, И.Г. Общее семеноведение полевых культур / И.Г. Строна. – М.: Колос, 1966. – 464 с.

140. Тарасенко, А.П. Зерноочистительные машины семейства ОЗФ / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский // Достижения науки и техники АПК. – 2006. - № 8. – С. 15-16.

141. Тарасенко, А.П. Исследование травмирования семян в период послеуборочной обработки / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова // Докл. Рос. акад. с.-х. наук. – 1999. – № 5. – С. 41-43.

142. Тарасенко, А.П. Определение допустимого травмирования зерна при уборке / А.П. Тарасенко // Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна. – Челябинск, 1982. – С. 70-79

143. Тарасенко, А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж : ВГАУ, 2003. – 331с.

144. Тарасенко, А. П. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур (рекомендации) / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // М.: 2014. – № 12. – 59 с.

145. Ткачев, В.В. Кинематические параметры механизма очистки плоских решет лесных семяочистительных машин / В.В. Ткачев // Лес. Наука. Молодежь.– 2004: сб. науч. Тр. / ВГЛТА.– Воронеж, 2005.– С. 115-117.

146. Ткачев, В.В. О новой конструкции механизма очистки решет лесных семяочистительных машин / В.В. Ткачев // Региональный вестник молодых ученых: сб. науч. тр. Молодых ученых. М., 2004.– № 3.– С. 112-113.

147. Файбушевич, Г.З. Исследование шариковых очистителей вибрационных решет / Г.З Файбушевич // Тр. ВИМ, М., – 1963.

148. Файбушевич, Г.З. Очистка решет резиновыми шариками / Г.З Файбушевич // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. – № 3. – С. 20-21.

149. Фракционирование зернового вороха на решетках / Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Мерчалова М.Э., Чернышов А.В., Сорокин Н.Н. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 5. – С. 26-29.

150. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины / В.М. Халанский, И.В. Горбачев // Учебник для студентов вузов по агр. специальностям. Москва, - 2004. – 624 с.

151. Чернышов, А.В. Совершенствование процесса фракционирования зернового вороха на решетном стане зерноочистительных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / А.В. Чернышов; [Место защиты: Воронеж. гос. аграр. ун-т им. императора Петра I]. – Воронеж, 2011. – 144 с.

152. Чуйко Г.В. Инновационное развитие подотрасли для послеуборочной обработки, хранения, первичной переработки зерновых, зернобобовых, масличных культур и подготовки семян в России // Г.В. Чуйко, В.Д. Стрыгин, Н.А. Ревенко // В сборнике: Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2012. С. 207-219.

153. Чумаков, В.Г. Повышение эффективности работы зерноочистительных агрегатов / В.Г. Чумаков // Материалы региональной науч.-практ. конф. – Курган, 2001. – С. 79-81.

154. Чумаков, В.Г. Результаты исследования решётного стана с изменяющимся по длине решета кинематическим режимом / В.Г. Чумаков, И.В. Счастликов, А.М. Косовских // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству», посвящ. 100-летию со дня рождения И. Е. Ульмана. – Челябинск, 2008. – Ч. 3. – С. 42-47.

155. Чумаков, В.Г. Совершенствование технологии и технических средств для послеуборочной обработки зерна на основе дифференцирования потоков зернового вороха : дис...доктора технических наук / В.Г. Чумаков, Челябинск. – 2012.

156. Шевцов, И.В. Решета проволочно-сварной конструкции с круглыми перемычками [текст] / Аграрный вестник Урала. – 2007. – №2. – С. 46 -52.

157. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Перевод с англ. Е.Г. Коваленко под ред. Н.П. Бусленко. – М.: Мир, 1972. – 382 с.

158. Babic M. Influence of basic wheat grain physical properties onto hydrodynamical regimes / M. Babic, L. Babic // AgEng. Madrid 23. – 26. September 1996, Paper 96F-067.

159. Bohnet M. Mechanische Verfahrenstechnik / M. Bohnet. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004. – 270 s.

**РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ**



**ПАТЕНТ**  
НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ  
**№ 141156**

**ОЧИСТИТЕЛЬ ПЛОСКИХ РЕШЕТ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № **2013153596**  
Приоритет полезной модели **03 декабря 2013 г.**  
Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **22 апреля 2014 г.**  
Срок действия патента истекает **03 декабря 2023 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 **Б.Л. Симонов**





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** <sup>(11)</sup> 141 156 <sup>(13)</sup> **U1**  
 (51) МПК  
 B07B 1/54 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013153596/03, 03.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 03.12.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.12.2013

(45) Опубликовано: 27.05.2014 Бюл. № 15

Адрес для переписки:

394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, зав.  
 сектором защиты интеллектуальной  
 собственности Балбековой Л.В.

(72) Автор(ы):

Сундеев Александр Арсентьевич (RU),  
 Оробинский Владимир Иванович (RU),  
 Корнев Андрей Сергеевич (RU)

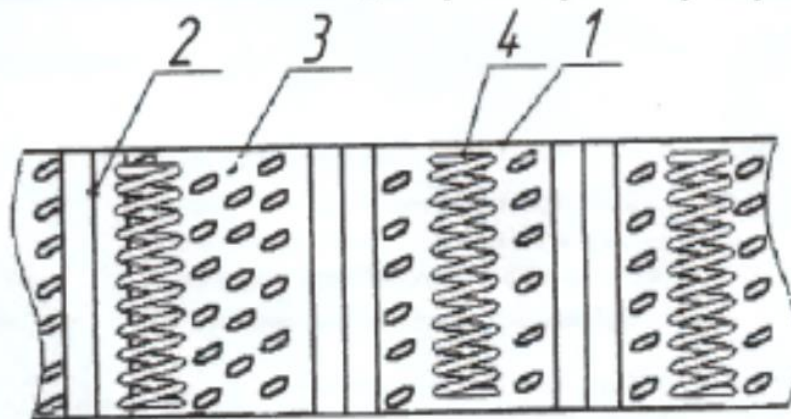
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное Учреждение высшего  
 профессионального образования  
 "Воронежский государственный аграрный  
 университет имени императора Петра 1"  
 (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)

(54) ОЧИСТИТЕЛЬ ПЛОСКИХ РЕШЕТ

(57) Формула полезной модели

Очиститель плоских решет, включающий перфорированную отражательную поверхность с выступами, образующими между собой ячейки, закрываемые решетом, с размещенными в них отражательными элементами, отличающийся тем, что отражательные элементы выполнены в виде пружин, включающих металлическую сердцевину, покрытую полимерной оболочкой, наружный диаметр которых больше расстояния между выступом отражательной поверхности и решетом, и длиной, равной ширине ячейки и шагом навивки более диаметра или ширины отверстий решета.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Программа движения очистителя в виде пружины по  
наклонной плоскости

```

> restart:
om:=30:
al:=45*3.141/180:
g:=9810:
k:=.2:
r:=14:
L:=6:
usk:=t->om^2*r*sin(om*t)*(cos(al)+k*sin(al))+g*(sin(al)-k*cos(al)):
usk(t):
sk(t):=int(usk(t),t)+356.417:
z(t):=int(sk(t),t):
T1:=arcsin(g/tan(al)/om^2/r)/om;
z:=t->-11.88056719*sin(30.*t)+2774.070318*t^2+356.4170157*t:
sk:=t->-356.4170157*cos(30.*t)+5548.140636*t+356.4170157:
S1:=z(T1);
V1:=sk(T1);
usk1:=t->om^2*r*sin(om*t)*cos(al)+g*sin(al):
usk1(t):
C1:=V1+om*r*cos(om*T1)*cos(al)-g*sin(al)*T1;
C2:=S1+r*sin(om*T1)*cos(al)-g*sin(al)*T1^2/2-C1*T1;
sk1:=t->-om*r*cos(om*t)*cos(al)+g*sin(al)*t+C1:
sk1(t):
z1:=t->-r*sin(om*t)*cos(al)+g*sin(al)*t^2/2+C1*t+C2:
z1(t):
T:=fsolve(z1(t)=6,t=T1..T1+0.05);
sk1(T);

```

$$T1 := 0.02975846534$$

$$S1 := 3.810434927$$

$$V1 := 297.9516013$$

$$8910.865414\sin(30t) + 6935.689680$$

$$C1 := 277.8732917$$

$$C2 := 0.181236227$$

$$-297.0288471\cos(30t) + 6935.689680t + 277.8732917$$

$$-9.900961571\sin(30t) + 3467.844840t^2 + 277.8732917t + 0.181236227$$

$$T := 0.03613698485$$

$$389.5878282$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В – Программа движения очистителя в виде пружины по направляющей окружности

```

restart:
with(plots) :
with(plottools) :
b1:=plot([[0,28],[50,28]],style=line):
b2:=plot([[0,9.8],[10,0]],style=line):
b3:=plot([[40,0],[50,9.8]],style=line):
b4:=plot([[50,0],[50,28]],style=line):
c1 := circle([14.4,17-6], 11, color=red):
#c2 := circle([14.4,17-5], 12, color=red):
f1:=x->12-sqrt(12^2-(x-14.4)^2);
Df1:=D(f1):
evalf(Df1(x));
f1(23.2);
Df1(23.2);
c2:=plot(f1(x),x=14.4..23.2):

f2:=x->12-sqrt(12^2-(x-35.6)^2);
Df2:=D(f2):
f2(26.8);
Df2(26.8);
c3:=plot(f2(x),x=26.8..35.6):
c4:=plot([[23.2,3.84],[26.8,3.84]],style=line):

display(c1,c2,c3,c4,b1,b2,b3,b4);
g:=9810: om:=30:f:=.01:R1:=12:r:=14:
kor:=sqrt(1+Df1(x(t))^2):
ur:=diff(x(t),t$2)=.5*(-g*Df1(x(t))/kor+om^2*r*sin(om*t)-
(diff(x(t),t)^2*kor^2/R1+g/kor+om^2*r*sin(om*t))*(Df1(x(t))+f)/kor:
n_u:=x(.036)=14.4,D(x)(.036)=389.6:
kkk:=dsolve({ur,n_u},x(t),type=numeric):
kkk(.0586);
plots[odeplot](kkk,[t,D(x)(t)],0.036..0.0586,labels=[`время,
с`,`горизонтальная скорость,мм/с`],
labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14],axes=boxed,style=line,linestyle=1,thickness=2,color=black);

```

$$f1 := x \rightarrow 12 - \sqrt{144 - (x - 14.4)^2}$$

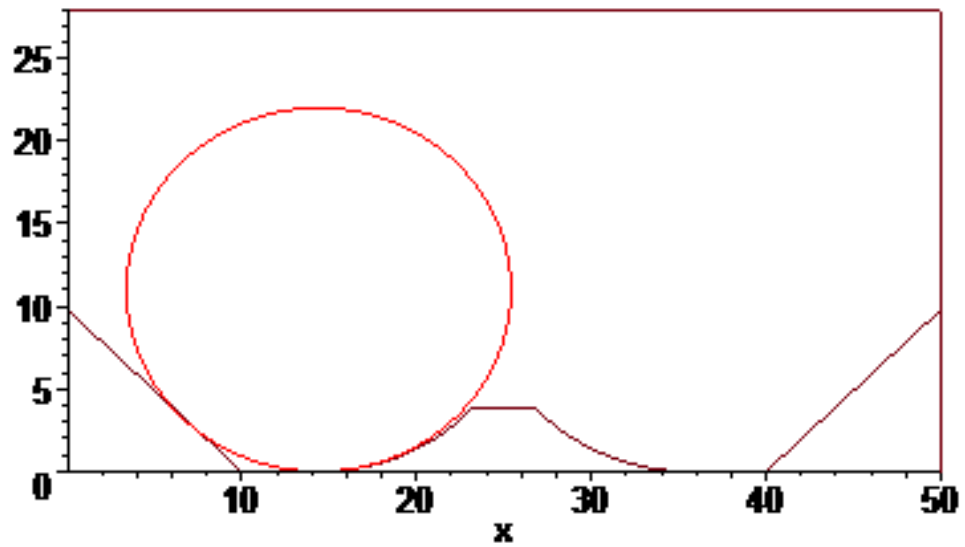
$$- \frac{0.5000000000(28.8 - 2.x)}{\sqrt{144. - 1. (x - 14.4)^2}}$$

3.841568778  
1.078638743

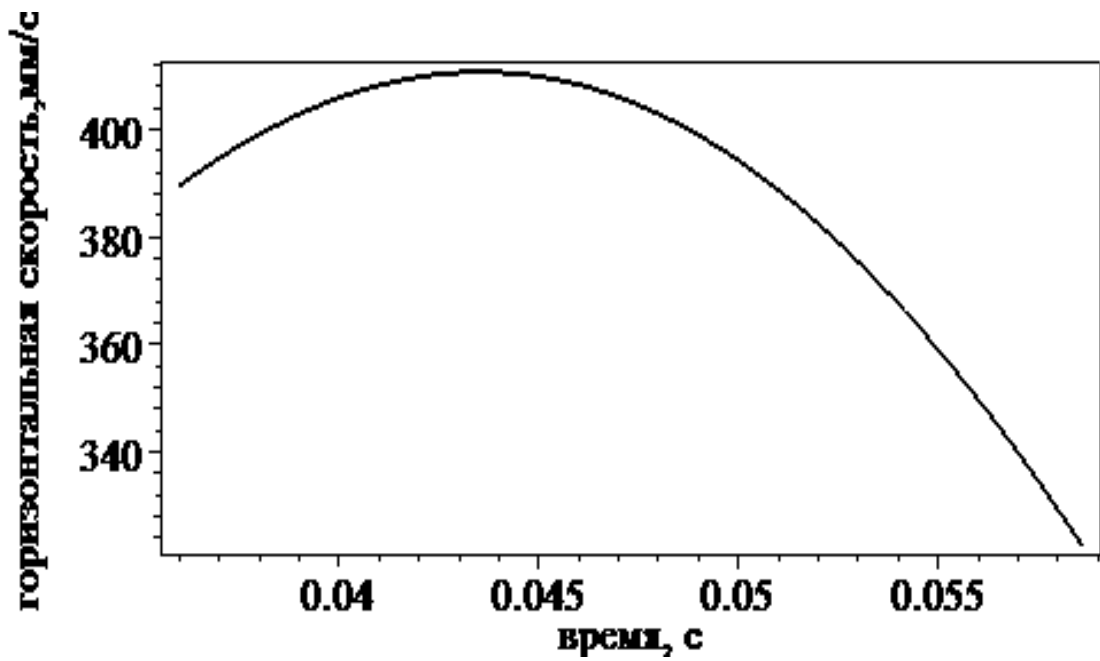
$$f2 := x \rightarrow 12 - \sqrt{144 - (x - 35.6)^2}$$

3.841568778

-1.078638743



$$\left[ t = 0.0586, x(t) = 23.1808678033563 \frac{d}{dt} x(t) = 322.487479605854 \right]$$



&gt;

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Программа полета очистителя в виде пружины

```

restart:
par:=.00001:
g:=9810:
om:=30:
r:=14:
vv:=xp(.0586)=23.2,yp(.0586)=3.84,D(xp)(.0586)=322.5,D(yp)(.0586)=322.5;
uu:=diff(xp(t),t$2)+par*diff(xp(t),t)*((diff(xp(t),t))^2+(diff(yp(t),t))^2)^.5-om^2*r*sin(om*t)=0,

diff(yp(t),t$2)+par*diff(yp(t),t)*((diff(xp(t),t))^2+(diff(yp(t),t))^2)^.5+g=0;
deg:={xp(t),yp(t)}:
P:=dsolve({uu,vv},deg,numeric,output=listprocedure):
X:=subs(P,xp(t)):Y:=subs(P,yp(t)):VX:=subs(P,diff(xp(t),t)):VY:=subs(P,diff(yp(t),t)):

```

$$vv := xp(0.0586) = 23.2, yp(0.0586) = 3.84, D(xp)(0.0586) = 322.5, \\ D(yp)(0.0586) = 322.5$$

$$uu := \left( \frac{d^2}{dt^2} xp(t) \right) + 0.00001 \left( \frac{d}{dt} xp(t) \right) \left( \left( \frac{d}{dt} xp(t) \right)^2 + \left( \frac{d}{dt} yp(t) \right)^2 \right)^{0.5} \\ - 12600 \sin(30 t) = 0, \\ \left( \frac{d^2}{dt^2} yp(t) \right) + 0.00001 \left( \frac{d}{dt} yp(t) \right) \left( \left( \frac{d}{dt} xp(t) \right)^2 + \left( \frac{d}{dt} yp(t) \right)^2 \right)^{0.5} + 9810 = 0$$

```

> i:= 0: while Y(.0586+.0001*i)<6
do
i:=i+1:T3:=.0586+.0001*i:

```

od:

```

c4 := circle([X(T3),17], 11, color=red):

```

```

> with(plots):
with(plottools):
b1:=plot([[0,28],[50,28]],labels=[`длина, мм`,`высота, мм`],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14],style=line,linestyle=1,thickness=1,color=black):
b2:=plot([[0,9.8],[10,0]],color=black,style=line):
b3:=plot([[40,0],[50,9.8]],color=black,style=line):
b4:=plot([[50,0],[50,28]],color=black,style=line):
k0 := circle([8.3,17], 11,thickness=2, color=black):
c1 := circle([14.4,17-6], 11,thickness=2, color=black):
c11 := circle([21.0,17-6+3.4], 11,thickness=2,color=black):

```

```

f1:=x->12-sqrt(12^2-(x-14.4)^2):
c2:=plot(f1(x),x=14.4..23.2,color=black):
f2:=x->12-sqrt(12^2-(x-35.6)^2):

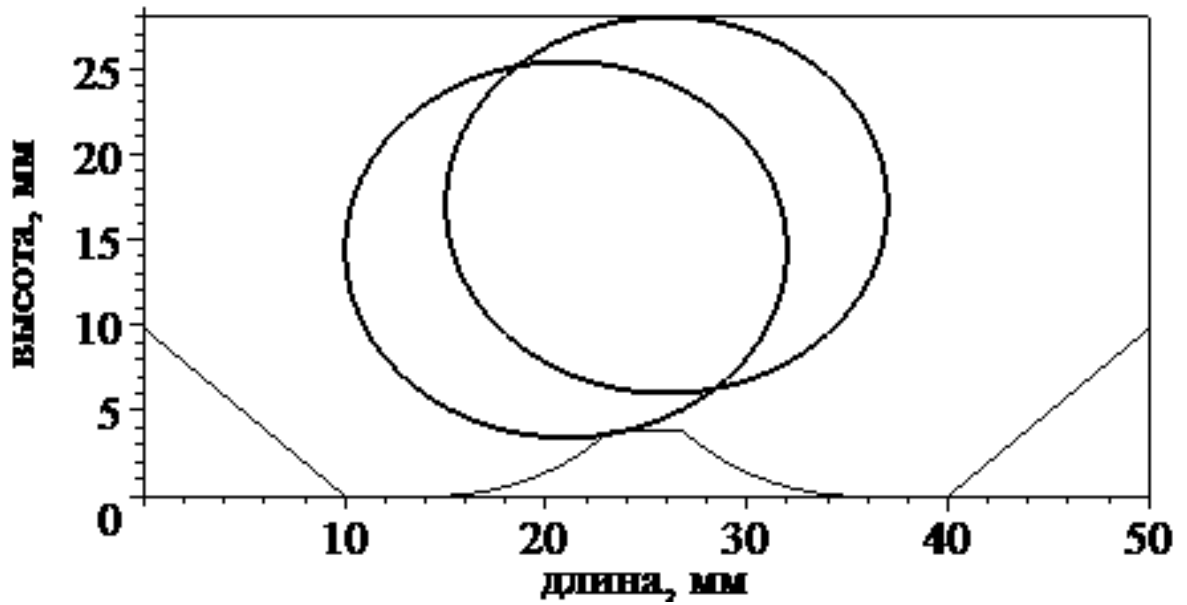
```

```

c3:=plot(f2(x),x=26.8..35.6,color=black):
c4:=plot([[23.2,3.84],[26.8,3.84]],color=black,style=line):
c5:= circle([X(T3),17], 11,thickness=2,color=black):
print(T3,X(T3),Y(T3),VX(T3),VY(T3)):
display(c11,c2,c3,c4,c5,b1,b2,b3,b4,labels=[`длина, мм`,`высота, мм`],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14]);

```

0.0662, 26.0018027161341 6.00764743818172 413.737834216850  
247.933883375083



>  
>

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 142434

**РЕШЕТНЫЙ СТАН**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013157638

Приоритет полезной модели 24 декабря 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 23 мая 2014 г.

Срок действия патента истекает 24 декабря 2023 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU**<sup>(11)</sup> 142 434<sup>(13)</sup> **U1**  
 (51) МПК  
 A01F 12/44 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013157638/13, 24.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
24.12.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.12.2013

(45) Опубликовано: 27.06.2014 Бюл. № 18

Адрес для переписки:

394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, зав.  
 сектором защиты интеллектуальной  
 собственности Балбековой Л.В.

(72) Автор(ы):

Сундеев Александр Арсентьевич (RU),  
 Оробинский Владимир Иванович (RU),  
 Коршев Андрей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

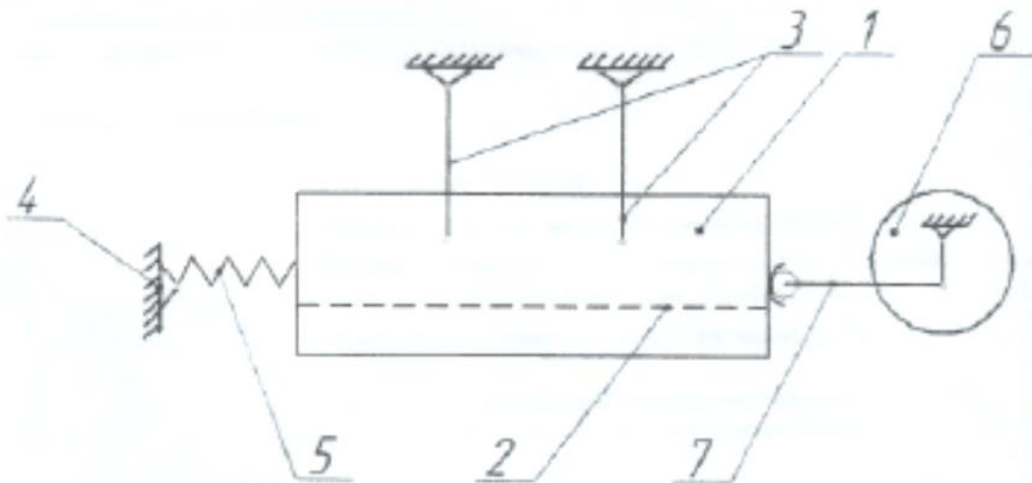
Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное Учреждение высшего  
 профессионального образования  
 "Воронежский государственный аграрный  
 университет имени императора Петра 1"  
 (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)

RU 142434 U1

## (54) РЕШЕТНЫЙ СТАН

## (57) Формула полезной модели

Решетный стан, включающий корпус с решетками, закрепленный на раме машины при помощи вертикальных подвесок, установленный с возможностью колебательного движения, и эксцентриковый привод, отличающийся тем, что механизм привода снабжен толкателем, обеспечивающим силовое взаимодействие между корпусом и эксцентриком с возможностью изменения эксцентриситета и частоты колебания, при этом корпус в плоскости толкателя подпружинен.





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 151995

**РЕШЕТНЫЙ СТАН**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014147545

Приоритет полезной модели 25 ноября 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 01 апреля 2015 г.

Срок действия патента истекает 25 ноября 2024 г.

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **151 995** (13) **U1**(51) МПК  
A01F 12/44 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014147545/13, 25.11.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.11.2014Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 25.11.2014

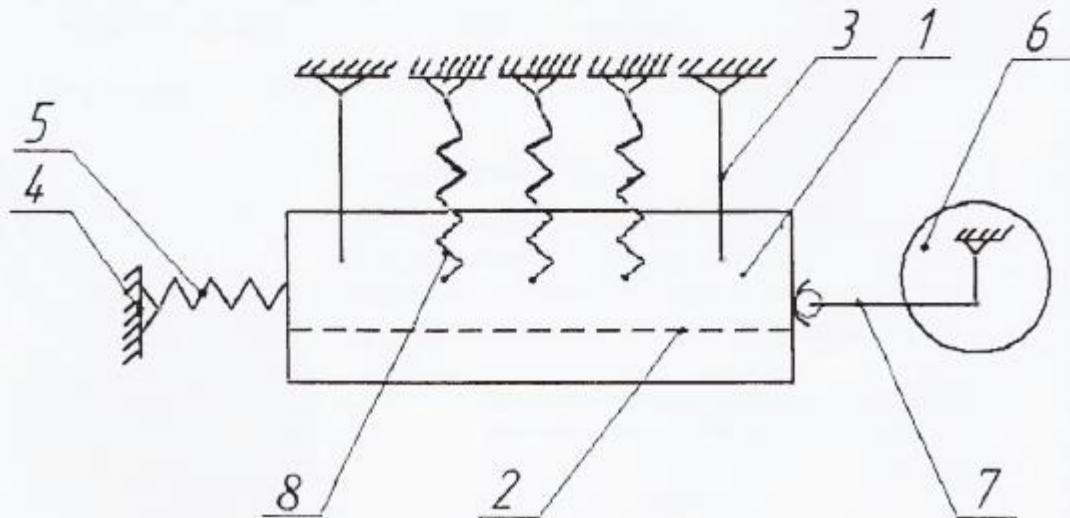
(45) Опубликовано: 27.04.2015 Бюл. № 12

Адрес для переписки:  
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, зав.  
сектором защиты интеллектуальной  
собственности Балбековой Л.В.(72) Автор(ы):  
Сундеев Александр Арсентьевич (RU),  
Оробинский Владимир Иванович (RU),  
Корнев Андрей Сергеевич (RU),  
Пахомов Андрей Юрьевич (RU)(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Воронежский государственный аграрный  
университет имени императора Петра 1"  
(ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)

## (54) РЕШЕТНЫЙ СТАН

## (57) Формула полезной модели

Решетный стан, включающий корпус с решетками, закрепленный на раме машины при помощи вертикальных подвесок, расположенных вдоль продольных сторон решетчатого стана с возможностью колебательного движения, и эксцентриковый привод с толкателем, отличающийся тем, что корпус с решетками дополнительно закреплен на раме на цилиндрических витых пружинах растяжения, размещенных между вертикальными подвесками.



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 135543

**РЕШЕТНЫЙ СТАН ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I" (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012105740

Приоритет полезной модели 17 февраля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 декабря 2013 г.

Срок действия патента истекает 17 февраля 2022 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Б.П. Симонов*





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) RU<sup>(11)</sup> 135 543<sup>(13)</sup> U1(51) МПК  
B07B 1/46 (2006.01)

## (12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012105740/03, 17.02.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
17.02.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.02.2012

(45) Опубликовано: 20.12.2013 Бюл. № 35

Адрес для переписки:

394087, г.Воронеж, ул. Минчурина, 1, ВГАУ,  
зав. сектором защиты интеллектуальной  
собственности Л.В. Балбековой

(72) Автор(ы):

Сундеев Александр Арсентьевич (RU),  
Гневский Алексей Михайлович (RU),  
Тарасенко Александр Павлович (RU),  
Оробинский Владимир Иванович (RU),  
Корнев Андрей Сергеевич (RU)

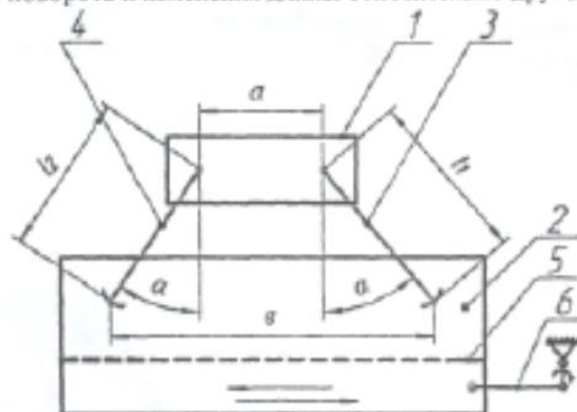
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Воронежский государственный аграрный  
университет имени императора Петра 1"  
(ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)

(54) РЕШЕТНЫЙ СТАН ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

(57) Формула полезной модели

Решетный стан зерноочистительной машины, включающий набор решет, подвески с плоскими пружинами, прикрепленные одним концом к корпусу машины, а другим к решетному стану, отличающийся тем, что плоские пружины подвесок установлены попарно с продольных сторон решетного стана наклонно и симметрично относительно вертикальной оси и прикреплены к корпусу и решетному стану с возможностью их поворота и изменения длины относительно друг друга.



RU 135543 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 139851

**РЕШЕТО ДЛЯ РЕШЕТНОГО СТАНА  
ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013146889

Приоритет полезной модели **21 октября 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **25 марта 2014 г.**

Срок действия патента истекает **21 октября 2023 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.Л. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **139 851** (13) **U1**(51) МПК  
B07B 1/12 (2006.01)  
B02B 1/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013146889/13, 21.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.10.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.10.2013

(45) Опубликовано: 27.04.2014 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, зав.  
сектором защиты интеллектуальной  
собственности Балбековой Л.В.

(72) Автор(ы):

Суднев Александр Арсентьевич (RU),  
Оробинский Владимир Иванович (RU),  
Корнев Андрей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное Учреждение высшего  
профессионального образования  
"Воронежский государственный аграрный  
университет имени императора Петра 1"  
(ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)

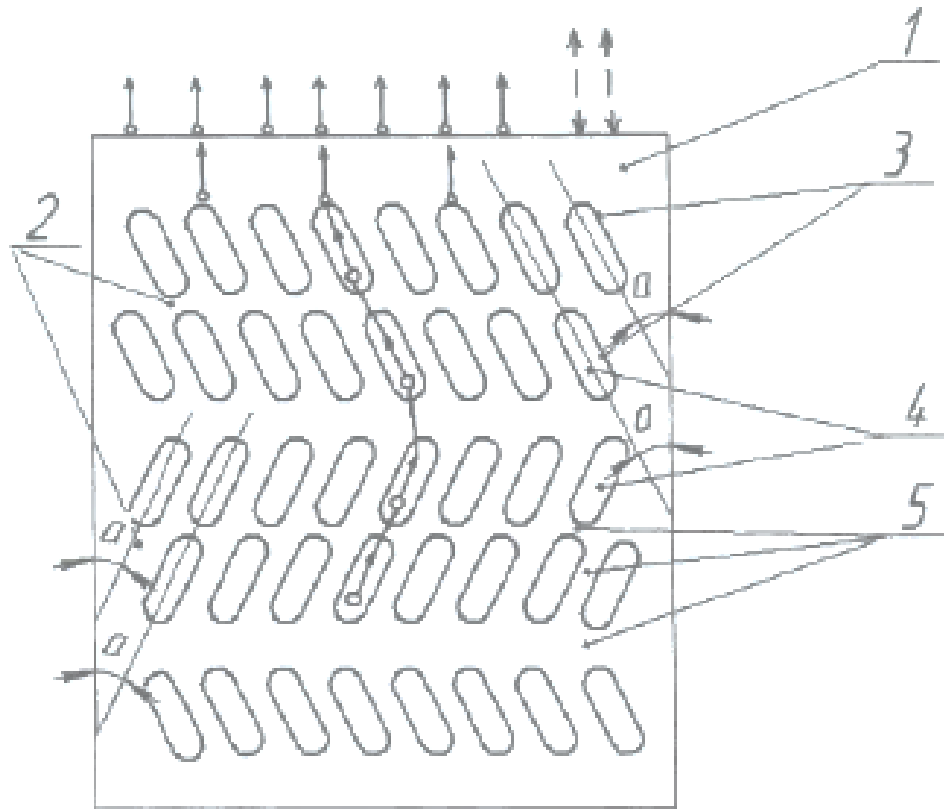
## (54) РЕШЕТО ДЛЯ РЕШЕТНОГО СТАНА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

(57) Формула полезной модели

Решето для решетного стана зерноочистительной машины, включающее плоское металлическое полотно прямоугольной формы с рядным расположением продолговатых отверстий, отличающееся тем, что решето разделено на секции, состоящие из 2-3 рядов продолговатых отверстий и расположенных таким образом, что продолговатые отверстия соседних секций отклонены от продольной стороны полотна решета в противоположные стороны на угол меньше динамического угла трения движущейся зерносмеси по поверхности решета.

RU 139851 U1

RU 139851 U1



○ → Направление перемещения частичек зерна

↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓ Направление колебания решетки

RU 139851 U1

RU 139851 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2516873

**ДЕЛИТЕЛЬ ПОТОКА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012151108

Приоритет изобретения 28 ноября 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 26 марта 2014 г.

Срок действия патента истекает 28 ноября 2032 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU**<sup>(11)</sup> **2 516 873**<sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
B65G 69/00 (2006.01)  
B65G 65/32 (2006.01)  
B65G 11/20 (2006.01)  
B65G 53/56 (2006.01)**(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2012151168/11, 28.11.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.11.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.11.2012

(45) Опубликовано: 20.05.2014 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2415070 C1, 27.03.2011. SU 296696  
A, 09.06.1971. SU 1787129 A3, 07.01.1993. SU  
2067381 C1, 10.10.1996. SU 783631 A1,  
30.11.1980. UA 53032 U, 27.09.2010.  
JP557145729 A, 08.09.1982

Адрес для переписки:

394067, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, зав.  
сектором защиты интеллектуальной  
собственности Л.В. Балбековой

(72) Автор(ы):

Судцов Александр Ароентьевич (RU),  
Востриков Павел Сергеевич (RU),  
Воронин Владимир Викторович (RU),  
Корнев Андрей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное Учреждение высшего  
профессионального образования  
"Воронежский государственный аграрный  
университет имени императора Петра 1"  
(ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)

(54) ДЕЛИТЕЛЬ ПОТОКА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

(57) Формула изобретения

Делитель потока сыпучего материала, включающий входной и два выходных патрубка, коромысло с двумя лотками, отличающийся тем, что входной патрубок на выходе снабжен подпружиненными стенками, а лотки соединены шарниром с возможностью поворота относительно оси качания, расположенной выше центра тяжести коромысла и ниже упомянутого шарнира.

RU 2 516 873 C 1

RU 2 516 873 C 1



ПРИЛОЖЕНИЕ Л – АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В ЗАО «ТЕХНИКА СЕРВИС»

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Настоящий акт подтверждает, что результаты практических и теоретических исследований процесса сепарирования зерновой массы, полученные при выполнении научно-исследовательской работы Корнева Андрея Сергеевича, аспиранта Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I по теме: «Повышение эффективности сепарации зерна на плоских решетках зерноочистительных машин», выполняемой под руководством д. с.-х. н. Орбинского Владимира Ивановича, представляют практический интерес и используются на предприятии по производству сельскохозяйственных машин и оборудования ЗАО «Техника-Сервис».

Предложенные технические решения: очистители плоских решет в виде пружины (патент на полезную модель №141156), разнонаправленные подвески решетного стана (патент на полезную модель №135543), разработанная конструкция привода решетного стана зерноочистительной машины (патент на полезную модель №142434) позволяют увеличить производительность зерноочистительной машины ОЗФ 80/40/20, как при отдельном использовании каждого технического решения, так и при совместном применении.

Считаем целесообразным рекомендовать использование предложенных технических решений при разработке решетных зерноочистительных машин для послеуборочной обработки зерна и семян.

Генеральный директор  
ЗАО «Техника сервис»



Кустовинов С.В.

Декан агроинженерного ф-та ВГАУ  
Зав. каф. «Сельскохозяйственные машины»  
д.с.-х.н. профессор

Орбинский В.И.

Аспирант

Корнев А.С.



ПРИЛОЖЕНИЕ М – СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС  
РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Утверждаю  
Ректор ФГБОУ ВПО  
Воронежского государственного  
аграрного университета имени  
императора Петра I  
Бухтояров Н.И.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015г.



СПРАВКА  
о внедрении в учебный процесс результатов научно-исследовательской  
работы аспиранта Корнева А.С.

Результаты научных исследований А.С. Корнева по повышению эффективности сепарации зерна на плоских решетках зерноочистительных машин внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 (110800.62) и магистров по направлению 35.04.06 (110800.68). Их используют при чтении лекций, выполнении курсовых и дипломных проектов, проведении лабораторно-практических занятий.

Декан агроинженерного ф-та ВГАУ  
Зав. каф. «Сельскохозяйственные машины»  
д.с.-х.н. профессор

Оробинский В.И.